

FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO: ENGENHARIA CIVIL

GUIDO VENCESLAU BARUSCO ALMEIDA JÚNIOR
MATRÍCULA: 21016006

SISTEMA CONSTRUTIVO EM *LIGHT STEEL FRAMING* -
ACOMPANHAMENTO DE UMA OBRA RESIDENCIAL

Brasília
2014

GUIDO VENCESLAU BARUSCO ALMEIDA JÚNIOR

**SISTEMA CONSTRUTIVO EM *LIGHT STEEL FRAMING* -
ACOMPANHAMENTO DE UMA OBRA RESIDENCIAL**

Trabalho de Curso (TC) apresentado
como um dos requisitos para a conclusão
do curso de Engenharia Civil do UniCEUB
- Centro Universitário de Brasília

Orientador: Engº William Oliveira Bessa

Brasília

2014

GUIDO VENCESLAU BARUSCO ALMEIDA JÚNIOR

**SISTEMA CONSTRUTIVO EM *LIGHT STEEL FRAMING* -
ACOMPANHAMENTO DE UMA OBRA RESIDENCIAL**

Trabalho de Curso (TC) apresentado
como um dos requisitos para a conclusão
do curso de Engenharia Civil do UniCEUB
- Centro Universitário de Brasília

Orientador: Engº William Oliveira Bessa

Brasília, 27 de Novembro de 2014.

Banca Examinadora

Engº. Civil William Oliveira Bessa
Orientador

Arq. Marcos Henrique Ritter de Carvalho
Examinador Interno

Arq. Luciana Oliveira Carvalho
Examinadora Externa

Agradecimentos

Primeiramente eu gostaria de agradecer aos meus pais, Fátima e Guido, por todo amor e apoio. (Eu amo vocês, beijos)

Aos meus irmãos Ana Maria e João Phellipe Barusco, por terem se interessado no trabalho e apoiarem a realização deste.

À minha sócia e melhor amiga, minha noiva linda que eu amo tanto, Rebecca Gissoni, por ter aparecido na minha vida.

Aos meus cunhados, Ronney, Ayrton e Laísa, também pelo interesse no trabalho.

À minha família em geral pelo apoio, em especial à minha tia Shirley que eu gosto demais, a minha avó Rosa que idealiza minha atuação na pesquisa desde muito tempo atrás, e meu avô Arino Barusco por me perguntar como vão as coisas.

À minha sogra, Yara Gissoni, por todo apoio e momentos de descontração. E ao meu sogro Paulo também pelo apoio.

Aos meus colegas do grupo de pesquisa Sustentabilidade na Construção Civil.

Ao professor William Bessa por toda a orientação e auxílio para a conclusão deste trabalho, e pelos excelentes semestres de aulas.

Ao engenheiro civil André Coelho, pela constante disponibilidade em me ajudar.

À empresa Zárya, por ter permitido que eu acompanhasse uma de suas obras.

Ao Ovídio, proprietário da casa estudada, também por ter permitido a realização deste trabalho em sua propriedade.

Ao Sebastião e sua equipe pela experiência a mim passada e pela receptividade.

A Deus que me deu a vida.

Ao Coordenador do Curso de Engenharia Civil, Jocinez, que sempre se pôs a ajudar.

A todos os professores com quem tive aula, em especial, ao Henrique, ao Jairo Furtado, ao João Marcos, ao Jorge, à Maruska, à Mônica Veloso e à Neusa.

Aos meus colegas de classe: Alan Nunes, Flávia, Gabriel Ribeiro, Guilherme Souto, Gustavo Bezerra, Jhonatas, Marco Antônio e Vinícius Klier.

Ao Geraldo Catolé, pela amizade e por toda a ajuda durante o curso.

RESUMO

A busca por soluções sustentáveis para combater problemas ambientais é uma realidade atualmente, inclusive na construção civil. Existe a necessidade de utilizar sistemas construtivos que possuam os menores impactos ambientais possíveis, que sejam mais eficazes e produtivos, que englobem uma diversidade maior de trabalhadores e que possuam preços adequados, ou seja, sistemas construtivos sustentáveis. É através desta necessidade que o sistema *Light Steel Framing* se apresenta, um método construtivo racional e otimizado, que tem o mínimo possível de geração de resíduos e o projeto é todo concebido para ser o mais industrializado possível deixando o mínimo de serviço para ser executado no canteiro de obra, além de permitir um melhor ambiente de trabalho aos funcionários. No Brasil este método precisa de mais estudos apresentando suas vantagens e desvantagens tendo como principal objetivo a sua divulgação e popularização, para que assim aos poucos seja quebrada a principal barreira que este método encontra, a cultura. Este trabalho apresenta e aborda uma rápida discussão a respeito dos sistemas construtivos em *Light Steel Frame*, através do acompanhamento de todas as fases construtivas de uma obra residencial, até o início da fase de acabamento.

Palavras chaves: *Light Steel Framing*; Estruturas em Aço Leve; Sustentabilidade; Construção sustentável; Redução de Resíduos; Processo construtivo otimizado.

ABSTRACT

The search for sustainable solutions to tackle environmental problems is now a reality, even in civil construction. There is a need of building systems that have the lowest possible environmental impacts, that are more effective and productive, covering a wider range of workers and that have adequate prices, other words, sustainable building systems. It is through this need that Light Steel Framing System presents itself, a rational and optimized construction method, which has the least amount of waste and the whole project is designed to be the most industrialized leaving the minimum of service to run on construction site, and allow a better work environment for employees. In Brazil this method needs more studies showing its advantages and disadvantages having as main objective the dissemination and popularization, so this way gradually the main barrier is broken that this method finds, the culture. This study presents and deals with a brief discussion about the building systems in Light Steel Frame by monitoring all construction phases of a residential construction to the start until the stage of completion.

Key words: Light Steel Framing; Lightweight Steel Structures; sustainability; Sustainable construction; Waste Reduction; Constructive process optimized.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Considerações iniciais	16
1.2	Justificativa	17
1.3	Estrutura da monografia.....	17
2	OBJETIVOS.....	19
2.1	Objetivo geral.....	19
2.2	Objetivos específicos	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1	Vantagens da estrutura em aço	21
3.2	<i>Light Steel Framing</i>	23
3.2.1	Definição.....	23
3.3	Aplicações.....	28
3.4	Histórico do sistema LSF	32
3.5	Características, fabricação e montagem dos perfis formados a frio	36
3.6	Sistemas estruturais em <i>Light Steel Framing</i>	38
3.6.1	Método Stick.....	38
3.6.2	Método por painéis	39
3.6.3	Construção Modular	41
3.6.4	Balloon Framing.....	42
3.6.5	Platform Framing	43
3.7	Comportamento estrutural.....	44
3.7.1	Ligações	44
3.7.2	Corrosão eletrolítica.....	46
3.7.3	Tipos de perfis utilizados em LSF	46
3.8	Sustentabilidade	48
4	CARACTERÍSTICA DO SISTEMA CONSTRUTIVO.....	50
4.1	Construção em <i>Light Steel Framing</i>	50
4.1.1	Dimensionamento estrutural.....	50

4.1.2	Fundação.....	57
4.1.2.1	Laje Radier	57
4.1.3	Ancoragem da estrutura na fundação.....	59
4.1.4	Cobertura.....	61
4.1.5	Instalações	65
4.1.6	Fechamento.....	68
4.1.6.1	Fechamento externo.....	69
4.1.6.2	Isolantes térmicos e acústicos.....	73
4.1.6.3	Fechamento interno.....	74
4.1.6.4	Caixilhos e outros sistemas.....	75
4.1.7	Sísmica	75
4.1.8	Incêndio	77
5	ACOMPANHAMENTO DA OBRA.....	78
5.1	Apresentação	78
5.2	Materiais e equipamentos	79
5.2.1	Perfis	79
5.2.2	Parafusos	81
5.2.3	Lã de rocha.....	82
5.2.4	Banda Acústica.....	83
5.2.5	Base Coat System	84
5.2.6	Placa cimentícia.....	85
5.2.7	Cobertura.....	85
5.2.8	Membrana de vapor.....	87
5.2.9	Compensado estrutural	87
5.2.10	Equipamentos	88
5.3	Etapas	90
5.3.1	Canteiro de obras e mão-de-obra.....	90
5.3.2	Fundação.....	91
5.3.3	Estrutura	92
5.3.4	Cobertura.....	98
5.3.5	Fechamento Externo	102

5.3.6	Instalações	106
5.3.7	Fechamento Interno.....	107
5.3.8	Acabamentos.....	108
5.3.9	Sustentabilidade	108
6	ANÁLISE FINAL.....	110
6.1	Sugestões de pesquisas	111
	REFERÊNCIAS.....	112
	ANEXOS	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de residência em <i>Light Steel Framing</i> , São Paulo	23
Figura 2 - Desenho esquemático de uma residência em <i>Light Steel Framing</i>	25
Figura 3 - Vista da estrutura do piso com vigas em perfis galvanizados e contrapiso em OSB.....	26
Figura 4 - Residência em São José - Itú I	27
Figura 5 - Residência em São José - Itú II	28
Figura 6 - Residência em Ecoville I - São Paulo	29
Figura 7 - Restaurante em São Paulo	29
Figura 8 - Clínica em Belo Horizonte.....	30
Figura 9 - Hotel <i>Embassy Suites</i> - Columbus, Ohio, Estados Unidos da América ...	30
Figura 10 - Edifício na Inglaterra	31
Figura 11 - Esse edifício é formado por 1.425 módulos em LSF, na Inglaterra	31
Figura 12 - Reforma de telhado, com substituição por perfis metálicos formados a frio	32
Figura 13 - <i>Balloon Framing</i>	33
Figura 14 - Protótipo de residência em <i>Light Steel Framing</i> na Exposição Mundial de Chicago em 1933	34
Figura 15 - Perfis estruturais de madeira e aço galvanizado.....	34
Figura 16 - Linha de montagem de módulos residenciais no Japão	35
Figura 17 - Fabricação por perfilagem de perfis seção Ue.....	36
Figura 18 - Método <i>Stick</i>	39
Figura 19 - Painéis pré-fabricados	40
Figura 20 - Unidades modulares / Figura 21 - Módulo de banheiro	41
Figura 22 - <i>Balloon Framing</i>	42
Figura 23 - <i>Platform Framing</i>	43
Figura 24 - Ponta broca / Ponta agulha.....	44
Figura 25 - Tipos de cabeça de parafusos mais utilizados em LSF. Respectivamente: cabeças lenticular, sextavada, panela e trombeta.....	45
Figura 26 - Distribuição de Cargas - Sistema Convencional	52
Figura 27 - Distribuição de Cargas - Sistema <i>Light Steel Framing</i>	53

Figura 28 - Distribuição de Cargas - Sistema Convencional - Esforços Cortantes.....	53
Figura 29 - Distribuição de Cargas - Sistema <i>Light Steel Framing</i> - Esforços Cortantes.....	53
Figura 30 - Distribuição de Cargas - Sistema Convencional - Esforços Normais.....	54
Figura 31 - Distribuição de Cargas - Sistema <i>Light Steel Framing</i> - Esforços Normais	55
Figura 32 - Distribuição de Cargas - Sistema Convencional - Momento Fletor	55
Figura 33 - Distribuição de Cargas - Sistema <i>Light Steel Framing</i> - Momento Fletor	56
Figura 34 - Corte esquemático de uma laje radier	58
Figura 35 - Detalhe esquemático de ancoragem de painel estrutural a uma laje radier	59
Figura 36 - Ancoragem química, por fita metálica e com barra roscada tipo "J"	60
Figura 37 - Chumbador mecânico tipo <i>Parabolt</i>	60
Figura 38 - Pinos fixados com pistola de pólvora para fixação provisória da estrutura	61
Figura 39 - OSB como apoio para as telhas / Estrutura com treliças / Estrutura com Caibros.....	63
Figura 40 - Treliça montada com chapa <i>Gusset</i> e uma com parafusamento das almas.....	64
Figura 41 - Beiral / Telhado com quatro "águas"	64
Figura 42 - Tubulação de cobre com proteção nos perfis / Apoios para os pontos de água	65
Figura 43 - Tubulação de esgoto passando dentro das treliças da laje	66
Figura 44 - Peças plásticas que protegem os conduítes.....	67
Figura 45 - Como não fazer / Como fazer	67
Figura 46 - <i>Siding</i> cimentício.....	70
Figura 47 - As juntas internas e externas não devem ser coincidentes	71
Figura 48 - Evitar a ocorrência de todos os vértices no mesmo ponto das juntas verticais	71
Figura 49 - As juntas verticais nos batentes e portas não devem seguir até o teto...	72
Figura 50 - Juntas de placas e de painéis não devem ser coincidentes.	72
Figura 51 - Parafuso para fixação das chapas	73
Figura 52 - Isolamento termo-acústico.....	74

Figura 53 - Fechamento interno em <i>Drywall</i>	75
Figura 54 - Banda Acústica aplicada.....	77
Figura 55 - Localização da obra.....	78
Figura 56 - Materiais utilizados.....	79
Figura 57 - Armazenagem dos painéis.....	80
Figura 58 - Parafusos utilizados.....	81
Figura 59 - Parafusos: Cabeça lentilha com ponta broca / Cabeça sextavada com ponta broca para ligação de treliças / Várias ligações.....	82
Figura 60 - Lã de rocha.....	83
Figura 61 - Banda acústica.....	83
Figura 62 - Tela, massa e fita.....	84
Figura 63 - Placa cimentícia.....	85
Figura 64 - Telha <i>Shingle</i> / Barreira de vapor FIELTEP 15G.....	86
Figura 65 - Rolo da membrana ao fundo / Detalhe da face externa da membrana...	87
Figura 66 - Compensado estrutural.....	88
Figura 67 - Equipamentos.....	89
Figura 68 - Limpeza do terreno / Regularização, compactação e camada de brita e areia.....	91
Figura 69 - Concretagem após o posicionamento dos tubos, da lona, da armação e da forma.....	92
Figura 70 - Posicionamento da banda acústica e de painéis.....	93
Figura 71 - Painéis posicionados e detalhe do rebaixo nos perfis para a cabeça do rebite.....	93
Figura 72 - Posicionamento dos painéis e corte no perfil para passagem do tubo ...	94
Figura 73 - Ligação provisória com pregos fincados a pólvora / Chumbamento com <i>Parabolt</i>	95
Figura 74 - a) Ligação com rebite dos perfis para formar o painel; b) Ligação painel-painel com auto-brocante / Painel com identificação.....	95
Figura 75 - Escada em montagem / Treliças em posicionamento.....	96
Figura 76 - Placa cimentícia no piso do banheiro / Piso do quarto. Ambos no 1º pavimento.....	97
Figura 77 - Fotos da obra - Dia 04/09/2014.....	97
Figura 78 - Fotos da obra - Dia 04/09/2014.....	98

Figura 79 - Fotos da obra - Dia 09/09/2014	98
Figura 80 - Fotos da obra - Dia 09/09/2014	99
Figura 81 - Estrutura do telhado / Chapeamento do compensado estrutural no telhado	99
Figura 82 - Camada impermeabilizante com TEP e colocação das telhas <i>Shingle</i> . 100	
Figura 83 - Telhado <i>Shingle</i> finalizado	100
Figura 84 - Fachada frontal / Detalhe da pingadeira	101
Figura 85 - Fotos das calhas utilizadas	101
Figura 86 - Detalhes do fechamento externo - 16/09/14	102
Figura 87 - Detalhe construtivo que evita a entrada de fluidos na edificação	103
Figura 88 - Colocação das placas cimentícias e acabamento das juntas de placas - 16/09/14	104
Figura 89 - Acabamento com fita, tela e massa sobre as placas cimentícias - 22/09/14	105
Figura 90 - Fotos das fachadas nos dias 26 e 30/09/14.....	106
Figura 91 - Resíduos.....	109
Figura 92 - Planta baixa vergas do térreo	114
Figura 93 - Planta Baixa paredes Pav. Térreo	115
Figura 94 - Planta baixa treliça da laje	116
Figura 95 - Pavimento térreo.....	117
Figura 96 - Planta baixa da Laje.....	118
Figura 97 - Planta baixa paredes pavimento superior	119
Figura 98 - Pavimento superior - paredes e treliças	120
Figura 99 - Pavimento superior - Vergas do pavimento superior e laje reservatório	121
Figura 100 - Paredes reservatório e tesouras	122
Figura 101 - Painei Cobertura térreo.....	123
Figura 102 - Painei cobertura superior	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Revestimento mínimo para proteção dos perfis estruturais e não estruturais.....	38
Tabela 2 - Parafuso mais utilizados no LSF e seus usos	45
Tabela 3 - Designações dos perfis formados a frio para uso em Steel Framing e suas respectivas aplicações	47
Tabela 4 - Dimensões nominais usuais dos perfis de aço para <i>Steel Framing</i> , conforme NBR 6355.....	48

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1:	51
------------------	----

LISTA DE ABREVIATÖES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
LSF	<i>Light Steel Framing</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológica
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CBCA	Centro Brasileiro em Construção em Aço
ST	<i>Standard</i>
PNE	Portador de Necessidades Especiais
RF	Resistente ao Fogo

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A evolução da humanidade trouxe benefícios e facilidades para as populações. Na área da construção civil, têm-se construções de grande porte, construções executadas em menos tempo, comodidades para as pessoas, desenvolvimento e crescimento das cidades, entre outros benefícios. Porém, estes benefícios para as pessoas causam diversos problemas ambientais, como por exemplo, impactos ambientais relacionados com a geração de resíduos. Necessita-se de um novo modelo de construção, onde os resíduos sejam mínimos e tenha-se um desempenho igual ou superior às tecnologias convencionais, com custos equivalentes e uma melhoria social para os trabalhadores, ou seja, um sistema que possua aspectos ambientais, técnicos, econômicos e sociais superiores aos métodos construtivos convencionais. Um sistema sustentável de construção civil.

Como forma de utilizar um sistema construtivo mais eficaz em termos de geração de resíduos, produtividade, organização e sistematização, surge o sistema *Light Steel Framing* (LSF). Este sistema é constituído de perfis leves de aço, e com características industriais, ou seja, de linha montagem, aonde cada peça na obra já vem enumerada de acordo com a sua posição final, o que também permite maior controle da empresa executora, como também garante uma melhor qualidade do produto final.

O aço já vem sendo utilizado há centenas de anos em pontes, linhas férreas, automóveis, e até mesmo em nossos lares em objetos (GUIA do Construtor em Steel Framing, 2003). Entre as vantagens da utilização do aço como sistema estrutural, cita-se a redução de trabalho na obra, maior organização e conseqüentemente maior segurança no ambiente de trabalho, precisão milimétrica, entre outros.

O sistema LSF já é empregado em diversos países com sucesso, porém, no Brasil falta esta cultura de construções otimizadas. Portanto, o LSF é uma tecnologia que precisa ser divulgada no Brasil, para que todos seus benefícios

possam ser colocados em prática, desde a racionalização do uso dos materiais, como a maior eficiência possível em seu uso, até a inclusão social de pessoa com mobilidade reduzida em canteiros de obra.

1.2 Justificativa

Existe a necessidade de divulgação do método construtivo em LSF, visto que esta tecnologia chegou ao Brasil na década de 90. Assim, é necessário divulgar como é executado, materiais e detalhes técnicos.

Em virtude dos parâmetros ambientais da atualidade, é necessário um sistema construtivo racionalizado, com menor geração de resíduos e menores perdas de materiais durante a execução.

Com os prazos para entrega de empreendimentos cada vez menores, é necessário um sistema construtivo com maior agilidade para ser executado, além da necessidade de um sistema mais industrializado, o que acarreta menos trabalho *in loco* e maior produtividade.

Considerado um sistema novo no Brasil, existe a necessidade de mostrar as vantagens e desvantagens do sistema em comparação aos métodos de construção até então convencionais.

Portanto, a apresentação das características de um estudo de caso de uma obra residencial feita em LSF é uma pesquisa plausível para o cenário atual brasileiro.

1.3 Estrutura da monografia

Para este trabalho, optou-se por uma pesquisa teórica e um estudo de caso, cujos principais capítulos são:

- Revisão Bibliográfica;

- Característica do sistema construtivo;
- Acompanhamento da obra;
- Análise final.

O capítulo dedicado à *Revisão Bibliográfica* aborda inicialmente os principais aspectos das obras em *Light Steel Framing*, seu histórico e as tecnologias empregadas na obra acompanhada.

No capítulo dedicado às *características do sistema construtivo*, primeiramente tem-se um breve esquema comparativo da estrutura em concreto armado com o LSF, tanto na intensidade dos esforços atuantes, como uma análise dos dois tipos estruturais sob abalos sísmicos em outro tópico. Também se tem as principais tecnologias empregadas em LSF, para fundação, ancoragem, cobertura, instalações e fechamentos. E para finalizar, apresenta-se um estudo de uma parede interna de vedação com finalidade estrutural submetida ao fogo.

No capítulo dedicado ao *acompanhamento da obra*, primeiramente tem-se a apresentação da obra, e dos materiais e equipamentos utilizados. Na seqüência é apresentado um acompanhamento fotográfico dos sistemas construtivos adotados, e os principais cuidados a serem tomados pelos executores. Isto visa auxiliar pessoas interessadas na utilização deste método.

E finalizando este trabalho, tem-se o capítulo dedicado à *Análise Final*, onde foram feitas considerações a respeito de todo o processo apresentado em teoria e em prática. Também são propostos novos temas para pesquisas futuras.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Apresentar as principais características dos sistemas em *Light Steel Framing*, acompanhar a execução de uma obra desta natureza e apresentar os aspectos mais relevantes dos procedimentos executivos.

2.2 Objetivos específicos

- Conhecer e apresentar o método LSF;
- Explicar as vantagens da estrutura em aço;
- Mostrar aplicações e histórico do sistema LSF;
- Explicar características, fabricação e montagem dos perfis formados a frio;
- Explicar os sistemas estruturais em *Light Steel Framing*: Método *Stick*; Método por painéis; Construção Modular; *Balloon Framing*; *Platform Framing*;
- Mostrar e explicar os detalhes da estrutura: Ligações; Corrosão eletrolítica; Tipos de perfis utilizados em LSF;
- Apresentar e relacionar conceitos de sustentabilidade na construção civil;
- Realizar estudos comparativos da distribuição de esforços, entre o método adotado tradicionalmente (concreto armado) e o LSF;
- Apresentar as fundações, coberturas, instalações e fechamentos mais usuais entre as obras em LSF;

- Fazer uma breve comparação do método adotado tradicionalmente (concreto armado) e o LSF, sendo estes solicitados por abalos sísmicos;
- Mostrar o comportamento do LSF para paredes estruturais de fechamento interno em situação de incêndio;
- Apresentar o procedimento executivo adotado na obra estudada através de um relatório fotográfico, com foco nas etapas construtivas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Vantagens da estrutura em aço

As estruturas em aço apresentam inúmeras vantagens quando comparadas com o sistema construtivo convencional (concreto armado), de acordo com o ***Catálogo da CSN - Companhia Siderúrgica Nacional (2014)***, tais como:

- Simplicidade e praticidade da construção, o que garante a otimização do uso de insumos e mão-de-obra;
- Redução de prazos, uma vez que é possível estar trabalhando na fundação e, ao mesmo tempo, fabricar a estrutura;
- Rapidez e organização durante a montagem;
- Facilidade de se adaptar com outros materiais, permitindo variada utilização de produtos no fechamento, cobertura e acabamento da obra;
- Maior organização do canteiro de obras e menor utilização de espaço disponível para a obra, uma vez que se têm painéis organizados e uma significativa redução de geração de resíduos;
- Maior segurança devido à organização do canteiro, o que reduz os riscos de acidente;
- Potencial de reciclabilidade acima de 90%, o que garante que os possíveis resíduos gerados poderão, quase em totalidade, serem reciclados, preservando assim o meio ambiente;
- Fácil adaptação no caso de reformas e ampliações;
- Maior flexibilidade no projeto, através da possibilidade de obtenção de espaços internos mais amplos sendo pelas propriedades mecânicas que possibilitam maiores vãos livres e também estruturas mais esbeltas;

- Elevada resistência mecânica, o que permite estruturas mais leves e conseqüentemente reduz o custo de logística e de equipamentos de movimentação, além da redução de cargas na fundação;
- Retrabalho e desperdício reduzidos pelo uso de projetos mais elaborados que antecipam-se a possíveis problemas de seqüência de montagem. Ou seja, por ser um processo mais industrializado do que o sistema convencional, tem-se economia nesses quesitos;
- Apresenta precisão milimétrica, o que garante a precisão de níveis e prumos, facilitando a montagem de esquadrias;
- Garantia de qualidade do material pelo rigoroso controle dentro da usina siderúrgica, qualidade essa que é repassada ao projeto e a obra.

Em resumo, de acordo com o **Catálogo da CSN (2014)**, a obra em aço apresenta "Um projeto mais simples, prazo mais curto, maior qualidade, flexibilidade e leveza do aço" e "tudo isso garante uma boa economia na construção."

Além de todas as características citadas acima, tem-se algumas outras apresentadas no **Guia do Construtor em Steel Framing (2003)** com relação ao aço:

- Não é combustível;
- Resistente a insetos;
- Resistente a umidade, fungos e mofo;
- Perfis leves e fáceis de manusear, reduzindo a fadiga do trabalhador;
- Perfis pré-vazados facilitam a instalação de fios elétricos e outras utilidades.

Essas características apresentadas no guia são na maioria comparações com obras em madeira (*Wood Framing*), técnica muito difundida nos Estados

Unidos. Todas essas características citadas tornam o aço uma excelente opção para as obras de construção civil.

3.2 *Light Steel Framing*

3.2.1 *Definição*

O *Light Steel Framing* (LSF), Figura 1, assim conhecido mundialmente, é um sistema construtivo de concepção racional, e com a principal característica de utilizar perfis formados a frio de aço galvanizado. Os perfis servem para funções estruturais e não estruturais, vigas secundárias, vigas de piso, tesouras de telhado e demais componentes. (FREITAS e CRASTO, 2010).

Figura 1 - Estrutura de residência em *Light Steel Framing*, São Paulo



(Fonte: CRASTO, 2005)

Os elementos de uma estrutura em LSF servem para distribuir suas cargas até a fundação e também dar forma para a construção. Mas como outros sistemas construtivos, este também possui outros subsistemas além do estrutural, sendo os de fundação, de isolamento termo-acústico, de fechamento interno e externo, e instalações elétricas e hidráulicas. (CONSUL STEEL, 2002 *apud* FREITAS e CRASTO, 2010).

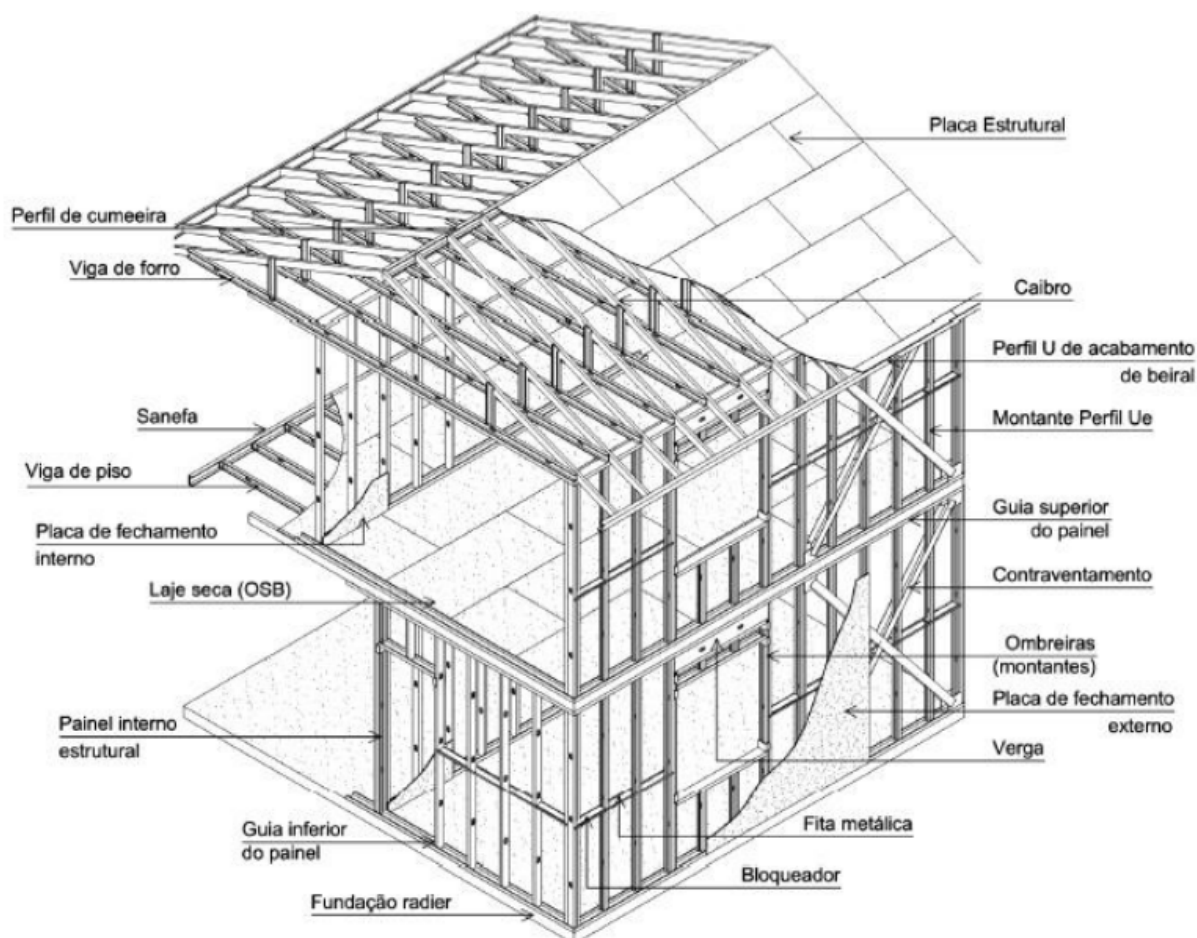
Assim, para que o sistema atenda às funções para qual foi projetado e construído, é necessário que os subsistemas estejam corretamente inter-relacionados, assim como em outros tipos de estrutura, e que sejam utilizados mão-de-obra e materiais adequados, o que será essencial para a velocidade e desempenho do sistema. (FREITAS e CRASTO, 2010)

O sistema *Light Steel Framing*, de acordo com Freitas e Crasto (2010), "é um sistema (..) capaz de integrar todos os componentes necessários à construção de uma edificação, tendo como o fundamental a estrutural." Portanto, este conceito de LSF é muito maior do que só o tipo da estrutura ser em perfis leves de metal, mas sim relacionado com a idéia de uma construção completa através da integração dos subsistemas.

De acordo ainda com Freitas e Crasto (2010), em suma, "a estrutura em LSF é composta de parede, pisos e cobertura. Reunidos, eles possibilitam a integridade estrutural da edificação, resistindo aos esforços que solicitam a estrutura." A partir disso, já é possível perceber as diferenças entre este sistema e o sistema em concreto armado convencional, através da ausência de vigas e pilares.

A seguir, uma ilustração esquemática de uma casa em LSF (Figura 2), com todos seus componentes e nomenclatura adotada.

Figura 2 - Desenho esquemático de uma residência em *Light Steel Framing*



(Fonte: FREITAS e CRASTO, 2010)

As paredes são denominadas painéis estruturais ou auto-portantes, e os perfis verticais que as compõem são os montantes, que possuem distância padronizada de 40 ou 60 cm. Esta distância é definida através do cálculo estrutural e possibilita a modulação do projeto. Esta modulação "otimiza custos e mão-de-obra na medida que se padronizam os componentes estruturais, os de fechamento e de revestimento." (FREITAS e CRASTO, 2010)

As paredes que são responsáveis por encaminhar as cargas da fundação ao solo. Seu fechamento externo pode ser feito de várias formas, sendo a placa cimentícia, o OSB (*oriented strand board*), o compensado fenólico e o compensado estrutural as mais comuns. Já para o fechamento interno, é comum o uso de *dry-wall*, chapas de gesso acartonado.

Na construção do piso superior, segue-se a mesma idéia das paredes, perfis espaçados a 40 ou 60 cm, de acordo com a modulação já adotada para os painéis, e chapas para o fechamento, conforme a Figura 3, que geralmente ou é OSB, ou *plywood* (compensado estrutural). Os perfis são alinhados com os montantes das paredes, o que garante a predominância de esforços normais na estrutura. A este conceito dá-se o nome de *in-line-framing*.

Figura 3 - Vista da estrutura do piso com vigas em perfis galvanizados e contrapiso em OSB



(Fonte: CRASTO, 2005)

A cobertura destas edificações, podem ser realizada de diversas maneiras, desde cobertura plana até telhados mais inclinados. Para telhados inclinados ocorre o uso de tesouras, assim como em construções comuns, a diferença é o material ser em aço leve. Este tipo de estrutura permite liberdade aos arquitetos na hora da escolha do telhado. Freitas e Crasto (2010) citam: "As telhas podem ser cerâmicas, de aço, de cimento reforçado por fios sintéticos ou de concreto." E apresentam as telhas *shingle*, que são muito utilizadas juntamente com o LSF, e que são compostas de material asfáltico. Esta tecnologia será tratada posteriormente no trabalho.

Em resumo, pode-se definir os sistemas LSF como: Estrutura "Painelizada"; Modulação - tanto dos elementos estruturais, como dos demais

componentes de fechamento e de revestimento, etc.; Estrutura alinhada (*in-line framing*)" (FREITAS e CRASTO, 2010)

Este tipo de projeto, de acordo com Freitas e Crasto (2010), viabiliza qualquer projeto arquitetônico, desde que ele seja concebido e planejado considerando o comportamento do sistema. Esta afirmação busca atrair arquitetos para este tipo de construção, pois muitos acham que isso será uma arquitetura muito peculiar, enquanto tem-se a viabilidade de qualquer projeto residencial, inclusive projetos com paredes curvas. A Figura 4 apresenta um exemplo de um telhado.

Figura 4 - Residência em São José - Itú I



(Fonte: CONSTRUTORA Sequência, 2014)

Ao final de uma construção em LSF, todas as peças metálicas estão cobertas, assim o resultado final assemelha-se à de uma construção convencional, afirma Freitas e Crasto (2010). Isto pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Residência em São José - Itú II



(Fonte: CONSTRUTORA Sequência, 2014)

O LSF é um método de construção industrializado que possibilita a construção a seco, por isso também é conhecido como Sistema Auto-Portante de Construção a Seco. Além dessa nomenclatura, o método também é conhecido como Estruturas em Aço Leve, Construção LSF ou Construção com Aço Galvanizado. (FREITAS e CRASTO, 2010)

Além desses nomes citados, ainda tem-se outro termo, já em desuso, que é o *Light Gauge Steel Frame*, onde *gauge* é uma unidade de medida que define a espessura das chapas de metal (FREITAS e CRASTO, 2010).

3.3 Aplicações

Seguem alguns exemplos das diversas aplicações das obras em LSF: residência (Figura 6), restaurante (Figura 7), clínica (Figura 8), hotel (Figura 9), edifício de até 4 pavimentos (Figura 10), construção modular (Figura 11) e reformas (Figura 12).

Figura 6 - Residência em Ecoville I - São Paulo



(Fonte: CONSTRUTORA Sequência, 2014)

Figura 7 - Restaurante em São Paulo



(Fonte: CONSTRUTORA Sequência, 2014)

Figura 8 - Clínica em Belo Horizonte



(Fonte: CONSTRUTORA Sequência, 2014)

Figura 9 - Hotel *Embassy Suites* - Columbus, Ohio, Estados Unidos da América



(Fonte: CONSTRUÇÃO em altura, 2014)

Figura 10 - Edifício na Inglaterra



(Fonte: CRASTO, 2005)

Figura 11 - Esse edifício é formado por 1.425 módulos em LSF, na Inglaterra



(Fonte: CRASTO, 2005)

Figura 12 - Reforma de telhado, com substituição por perfis metálicos formados a frio

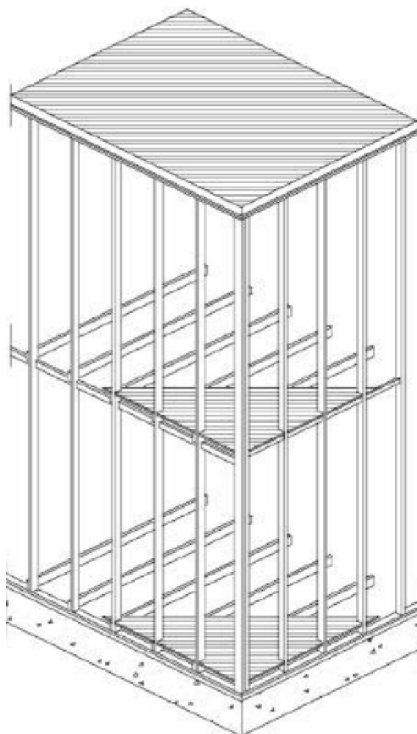


(Fonte: CRASTO, 2005)

3.4 Histórico do sistema LSF

O sistema LSF tem historicamente seu nascimento nas habitações em madeira construídas no início do século XIX em território americano, onde para atender o crescimento populacional foi necessário o emprego de métodos mais rápidos e produtivos, e utilizando materiais disponíveis na região (madeira), adotaram o método que consistia em estrutura composta de peças de pequena seção transversal, método este conhecido como *Balloon Framing*, método a ser propriamente tratado no item 3.6.4 Balloon Framing. (FREITAS e CRASTO, 2010)

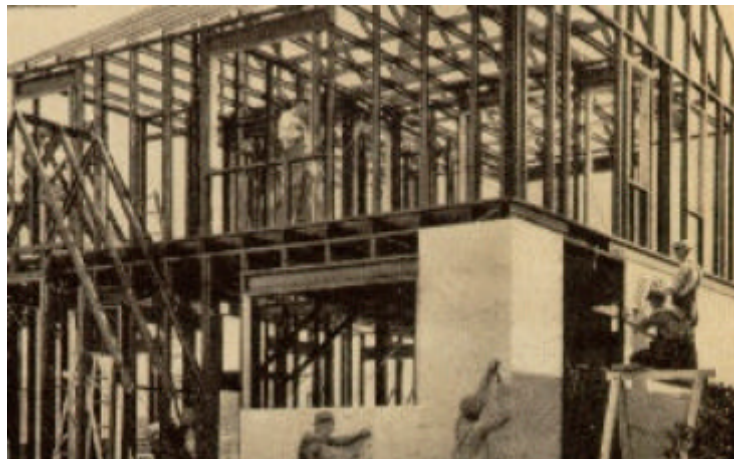
Figura 13 - Baloon Framing



(Fonte: FREITAS e CRASTO, 2010)

"A partir daí, as construções em madeira, conhecidas por *Wood Frame*, tornaram-se a tipologia residencial mais comum nos Estados Unidos." (FREITAS e CRASTO, 2010). Já em 1933 com a tecnologia do aço em grande desenvolvimento nos EUA, na Feira Mundial de Chicago, foi lançado um protótipo de uma residência em *Light Steel Framing*, Figura 14, que utilizava perfis de aço substituindo a madeira. (FRECHETTE, 1999 *apud* FREITAS e CRASTO, 2010)

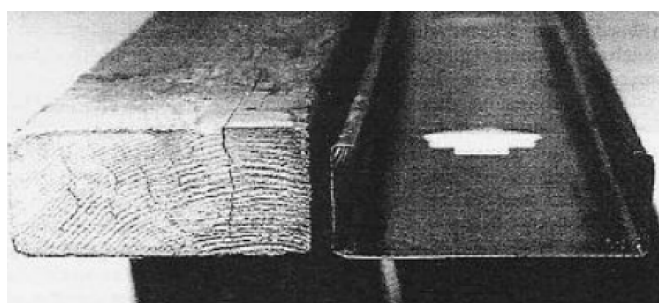
Figura 14 - Protótipo de residência em *Light Steel Framing* na Exposição Mundial de Chicago em 1933



(Fonte: CRASTO, 2005)

Com a abundância de aço no período pós Segunda Guerra, teve-se a evolução no processo de perfis formados a frio, com seu uso em substituição aos da madeira, Figura 15. Seu uso era vantajoso devido a maior resistência e eficiência estrutural e a capacidade da estrutura resistir a terremotos e furacões. Já na década de 90, as variações no preço e na qualidade da madeira garantiram a escolha deste outro sistema em aço nas construções residenciais. Estimou-se que até o fim desta década 25% das residências construídas nos EUA foram em LSF. (BATEMAN, 1998 *apud* FREITAS e CRASTO, 2010)

Figura 15 - Perfis estruturais de madeira e aço galvanizado



(Fonte: FREITAS e CRASTO, 2010)

Também após a Segunda Guerra Mundial, no Japão, era necessária a construção de 4 (quatro) milhões de casas que foram destruídas pelos bombardeios.

O uso da madeira havia sido condenado pelo governo japonês a fim de proteger os recursos florestais e também visto que este material combustível foi responsável pelo alastramento do fogo nas cidades. Através destas restrições, a indústria de perfis leves de aço se consolidou para substituição à madeira. O Japão apresenta um mercado e uma indústria altamente desenvolvidos nesta área.

Figura 16 - Linha de montagem de módulos residenciais no Japão



(Fonte: CRASTO, 2005)

Apesar de todas as qualidades, o método LSF é pouco conhecido Brasil. Um dos principais problemas que este processo construtivo enfrenta, é a cultura. A cultura brasileira de construção é mais artesanal, enquanto o LSF é um sistema industrializado. Segundo Coelho (2014), "No Brasil o sistema LSF desembarcou por volta de 1998, porém, até hoje, enfrenta diversas dificuldades para se firmar, principalmente por questões culturais."

Coelho (2014), alerta que o sistema exige projetos bem definidos e compatibilizados, por conta de sua produção ser em fábricas e ocorrer apenas a montagem no canteiro de obras. O autor também afirma que este problema está sendo suprimido atualmente com o desenvolvimento de plataformas de modelagem de projetos BIM.

3.5 Características, fabricação e montagem dos perfis formados a frio

Estes perfis estruturais de aço são obtidos através do dobramento, em prensa dobradeira, ou por perfilagem em conjunto de matrizes rotativas, Figura 17, de tiras de aço cortadas de chapas ou bobinas laminadas a frio ou a quente, revestidas ou não. Este processo permite a formação de diversas seções variando sua forma e/ou dimensão. Por este processo ocorrer em temperatura ambiente, dá-se o nome de "formado a frio". (FREITAS e CRASTO, 2010).

Figura 17 - Fabricação por perfilagem de perfis seção Ue



(Fonte: CRASTO, 2005)

Os perfis laminados a frio garantem estruturas mais leves e econômicas no quesito de industrialização do processo construtivo, características essas que atendem as expectativas tecnológicas da Engenharia Civil. No Brasil a sua utilização em estruturas está fase de rápido crescimento, em virtude das diversas vantagens que o emprego destes perfis oferece. (FREITAS e CRASTO, 2010).

As vantagens estão relacionadas a grande versatilidade do produto, desde sua fabricação até na sua construção e montagem (FREITAS e CRASTO, 2010). Na fabricação podem-se ter seções de formas bastante variadas e que são adaptadas a uma grande quantidade de aplicações. Em sua montagem os perfis se

apresentam extremamente leves, se comparados a outros perfis, e de fácil manuseio, sendo até dispensado o uso de equipamentos de movimentação em obras de pequeno porte.

Estas vantagens resultam em praticidade na construção de diversos tipos de estrutura e custo relativamente baixo. Assim, está cada vez mais comum a utilização de perfis formados a frio na construção de estruturas de edifícios residenciais e comerciais, coberturas, galpões, passarelas, residências, estantes industriais de armazenamento, entre outras. (FREITAS e CRASTO, 2010).

Conforme supracitado, através de sua alta versatilidade, os perfis formados a frio estendem sua aplicação aos diversos tipos de construção e com custos relativamente baixos.

Para proteção do aço contra a corrosão atmosférica, o método mais barato e mais efetivo é a zincagem (galvanização). Essa proteção ocorre mecanicamente através da camada de revestimento e também pelo efeito sacrificial do zinco, que perde massa em relação ao aço base (proteção catódica), assim o aço está bem protegido até mesmo quando cortado ou riscado profundamente.

A norma NBR 15253/2005 apresenta as massas mínimas dos revestimentos de chapas na Tabela 1, sendo que chapas têm sua espessura variando de 0,80 a 30 mm.

A perfiladeira de nome *Framecad* permite a realização de projetos dos painéis em seu *software* e a "impressão" dos perfis em suas matrizes rotativas. Esta máquina realiza os detalhes das emendas e inclusive o rebaixo para o encaixe da cabeça do rebite. Esta máquina entra com as bobinas de aço galvanizado, e realiza as dobras e furos necessários necessitando apenas o montador aplicar os rebites.

Tabela 1 - Revestimento mínimo para proteção dos perfis estruturais e não estruturais

Tipo de revestimento	Perfis estruturais		Perfis não-estruturais	
	Massa mínima do revestimento ¹ g/m ²	Designação do revestimento conforme normas	Massa mínima do revestimento ¹ g/m ²	Designação do revestimento conforme normas
Zincado por imersão a quente	180	Z180 (NBR 7008)	100	Z 100 (NBR 7008)
Zincado por eletrodeposição	180	90/90 (NBR 14964)	100	50/50 (NBR 14964)
Alumínio-zinco por imersão a quente	150	AZ150 (NM 86)	100	AZ100 (NM86)
1) A massa mínima refere-se ao total nas duas faces (média do ensaio triplo) e sua determinação deve ser conforme a NM 278				

(Fonte: NBR 15253/2005)

3.6 Sistemas estruturais em *Light Steel Framing*

De acordo com Trebilcock (1994), Scharff (1996), Bateman (1998) e Waite (2000) *apud* Crasto (2005), existem cinco métodos de construção utilizando LSF.

3.6.1 Método *Stick*

"Neste método de construção os perfis são cortados no canteiro da obra, e painéis, lajes, colunas, contraventamentos e tesouras de telhados são montados no local." (CRASTO, 2005). O material que chega à obra são os perfis brutos, que serão cortados e então montados *in situ*, conforme a Figura 18. Este procedimento é o convencional de construção.

Figura 18 - Método *Stick*



(Fonte: CRASTO, 2005)

Crasto (2005) apresenta as vantagens desse método construtivo com relação ao método por painéis: não é necessário possuir um local para pré-fabricação do sistema; há a facilidade de transporte das peças até o canteiro, uma vez que são perfis soltos e isso ocupa menos espaço no carregamento; e as ligações das barras são de fácil execução.

Também quando comparado ao método de painéis pré-montados, este método apresenta velocidade de execução muito menor, uma vez que o trabalho de montagem se dá no local definitivo da peça. A mão de obra deve ser melhor preparada tecnicamente para lidar com as plantas e posicionar corretamente um maior número de peças soltas.

3.6.2 Método por painéis

Crasto (2005) define este método como "Painéis estruturais ou não estruturais, que podem ser pré-fabricados fora do canteiro e montados no local".

Afirma ainda que alguns materiais de acabamento podem ser aplicados na fábrica, visando logicamente diminuir o tempo da construção.

"Os painéis (Figura 19) e sub-sistemas são aplicados no local usando as técnicas convencionais (parafusos auto-brocantes e auto-atarrachantes)." (CRASTO, 2005). Neste método, Crasto (2005) observa vantagens como: a velocidade de montagem; o alto controle de qualidade na produção dos sistemas; minimização do trabalho na obra; aumento da precisão dimensional devido às condições mais propícias de montagem dos sistemas na fábrica. A única desvantagem seria a exigência de um local para a confecção dos painéis.

Figura 19 - Painéis pré-fabricados



(Fonte: CRASTO, 2005)

O trabalho de pré-montagem, ou na fábrica ou no canteiro de obra, é mais fácil do que a montagem *in situ* pois o trabalho poderá ser feito em bancadas e sem o uso de escadas, cavaletes ou andaimes, o que garante uma maior velocidade de execução, sendo melhor ergonomicamente e possibilitando a inclusão de trabalhadores com mobilidade reduzida.

3.6.3 Construção Modular

Este tipo de construção é completamente industrializado. "As construções modulares são unidades completamente pré-fabricadas na indústria e podem ser entregues no local da obra com todos os acabamentos internos (...)." (CRASTO, 2005). Este método de construção apresenta maior velocidade em campo, uma vez que os módulos (Figura 20) já vêm prontos e com o acabamento interno, necessitando apenas serem posicionados e feito o acabamento externo.

Crasto (2005) cita o exemplo dos módulos de banheiro pronto que é muito comum para obras comerciais ou residenciais de grande porte.

É completamente plausível a utilização casada deste método construtivo com obras de outra natureza, porém os cuidados de obras em LSF devem ser tomados, principalmente com relação a corrosão que pode ocorrer pelo encontro do aço galvanizado com outros materiais. Em obras comerciais, onde é necessária uma maior velocidade, este sistema se adéqua perfeitamente, pois enquanto ergue-se a estrutura, os módulos de banheiros, por exemplo, podem estar sendo fabricados e já receberem o acabamento interno.

Figura 20 - Unidades modulares / Figura 21 - Módulo de banheiro

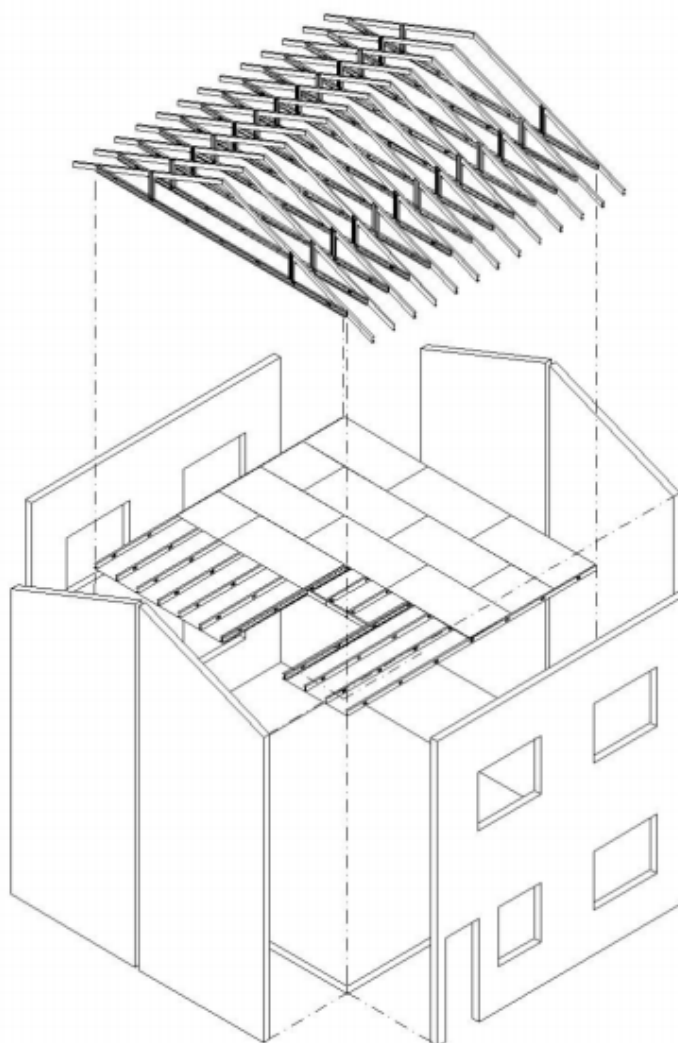


(Fonte: CRASTO, 2005)

3.6.4 Balloon Framing

O *Balloon Framing* é uma forma de construir tanto o método *Stick* como o método por painéis. Neste método, de acordo com Crasto (2005), a estrutura do piso é fixada nas laterais dos montantes e os painéis são geralmente muito grandes e vão além de um pavimento, conforme mostra a Figura 22.

Figura 22 - Balloon Framing

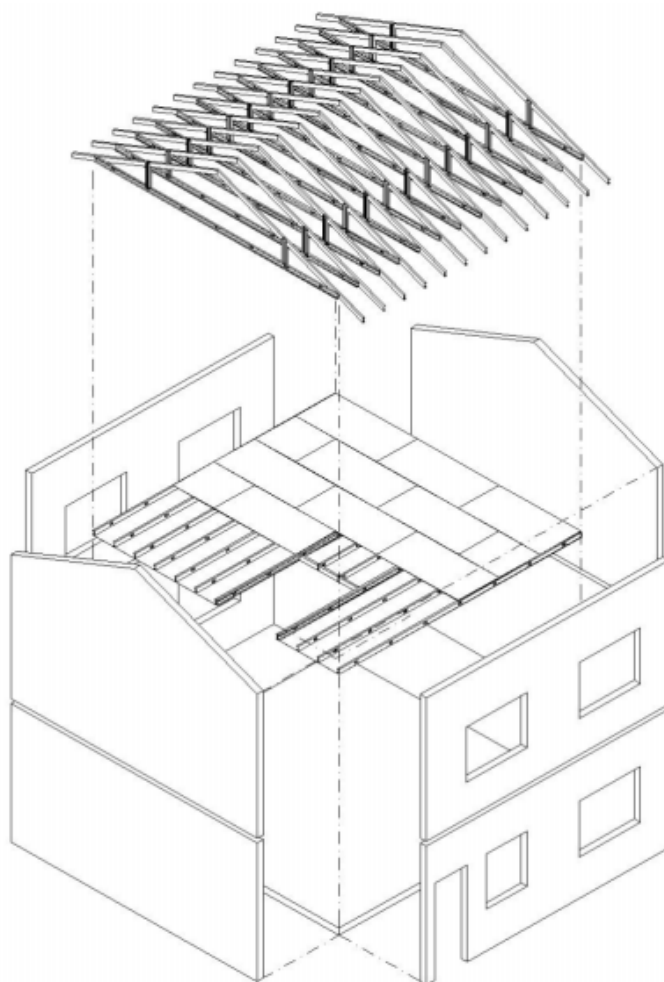


(Fonte: CRASTO, 2005)

3.6.5 Platform Framing

Assim como o *Balloon Framing*, este é um método de se construir ou o método *Stick* ou o método por painéis. A diferença é que neste método os painéis não são estruturalmente contínuos (CRASTO, 2005), ou seja, os painéis laterais são delimitados pela altura de cada pavimento, onde recebem as cargas de piso axialmente, conforme a Figura 23. Trebilcock (1994) *apud* Crasto (2005) cita que este é um método bastante utilizado nas construções atuais.

Figura 23 - Platform Framing



(Fonte: CRASTO, 2005)

3.7 Comportamento estrutural

3.7.1 Ligações

As ligações a serem utilizadas dependem de diversos fatores, como por exemplo, o tipo do carregamento, tipo e espessura dos materiais conectados e a resistência necessária da ligação. Os parafusos atendem muito bem ao método LSF e apresentam confiabilidade elevada através da busca constante das fábricas por durabilidade e desempenho.

Os parafusos também são de fácil aplicação e estão disponíveis em diversos formatos e tamanhos no mercado. Os que são mais utilizados no sistema LSF, de acordo com Crasto (2005), são os auto-atarraxantes e os auto-perfurantes, feitos em aço carbono com tratamento cementado e temperado, e com proteção de zinco para evitar corrosão.

É recomendado por Crasto (2005), que o parafuso passe 10mm do perfil metálico, quando for um emenda de elementos como placas de fechamento e perfis.

Dentro dos parafusos auto-atarraxantes tem-se dois tipos de ponta, a ponta broca e a ponta agulha (Figura 24), sendo a espessura da peça a ser perfurada o fator principal para a escolha da melhor opção.

Figura 24 - Ponta broca / Ponta agulha



(Fonte: CRASTO, 2005)

Elhajj (2004) *apud* Crasto (2005), recomenda o uso dos parafusos ponta agulha em perfis metálicos não estruturais e com espessura igual ou inferior a 0,84mm, e o uso dos parafusos ponta broca em perfis estruturais com espessura superior ou igual a 0,84mm, e quando há a conexão de várias camadas de material.





A escolha da cabeça dos parafusos também depende dos materiais a serem fixados, sendo que os que têm a parte inferior da cabeça em forma plana (lentilha, sextavado e panela) são para ligações entre perfis, e o que apresenta a parte superior da cabeça em forma plana (trombeta) serve para ligações de chapas e perfil. O tipo trombeta possibilita acabamento na chapa em que for aplicado, pois seu formato permite sua completa penetração. A Figura 25 apresenta os formatos das cabeças dos parafusos e Tabela 1 apresenta os mais utilizados.

Figura 25 - Tipos de cabeça de parafusos mais utilizados em LSF. Respectivamente: cabeças lentilha, sextavada, panela e trombeta



(Fonte: CRASTO, 2005)

Tabela 2 - Parafuso mais utilizados no LSF e seus usos

Imagem	Cabeça	Ponta	Aplicação	Uso na ligação de:
	Lentilha	Broca	Metal/metal	Montantes e guias
				Fitas (sem rasgar)
	Sextavada	Broca	Metal/metal	Ligação entre painéis
				Perfis em tesouras
				Enrijecedores de alma em viga de piso
				Piças de apoio das tesouras
	Trombeta	Broca	Placa/metal	Placas de gesso e perfis
				Placas de OSB e perfis
	Trombeta	Broca com aletas	Placa/metal	Placas cimentícias e perfis

(Fonte: Autor, utilizando imagens de CRASTO, 2005)

Os parafusos que contém aletas (asas) permitem o alargamento do furo na região da placa cimentícia fazendo com que estas placas recebam esforços apenas da pressão provenientes da cabeça do parafuso, e não direto pela rosca, o

que evita que as placas trinquem. As aletas se desprendem assim que entram em contato com o perfil metálico.

3.7.2 Corrosão eletrolítica

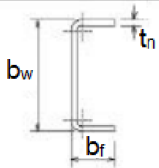
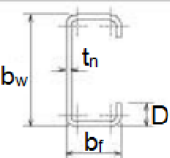
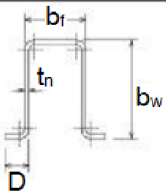
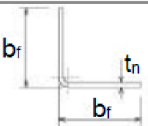
A corrosão eletrolítica é um grande problema no LSF. Ela ocorre através do encontro de diferentes tipos de aço, onde cada um tem um potencial diferente e com essa diferença de potencial surge uma corrente elétrica, que resultará na corrosão de um dos metais.

Coelho (2014), apresenta três formas em que essa corrosão pode acontecer e também apresenta as soluções: O uso de perfis metálicos convencionais, tubulações de ferro galvanizado para incêndio e ligações com parafusos sem proteção de zinco são as principais causas e recomenda proteção da interface, evitando assim o contato, no caso das duas primeiras, e recomenda que não sejam usados parafusos sem proteção.

3.7.3 Tipos de perfis utilizados em LSF

As seções mais comuns utilizadas na construção civil, de acordo com Crasto (2005), são em formato "C" ou "U" enrijecido (Ue) para montantes e vigas e o "U" como guia na base e no topo dos painéis. A diferença principal está em que as guias geralmente não recebem esforços e para poder serem encaixadas nos montantes, estas não apresentam a borda "D". Tudo isso se apresenta na Tabela 3:

Tabela 3 - Designações dos perfis formados a frio para uso em Steel Framing e suas respectivas aplicações

SEÇÃO TRANSVERSAL	SÉRIE Designação NBR 6355:2003	Utilização
	U simples $U \ b_w \times b_f \times t_n$	Guia Ripa Bloqueador Sanefa
	U enrijecido $Ue \ b_w \times b_f \times D \times t_n$	Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga
	Cartola $Cr \ b_w \times b_f \times D \times t_n$	Ripa
	Cantoneira de abas desiguais $L \ b_{f1} \times b_{f2} \times t_n$	Cantoneira

(Fonte: NBR 15253/2005)

A dimensão das almas dos perfis Ue que são comercializadas no Brasil são 90, 140 e 200mm, com mesas variando de 35 a 40mm, de acordo Crasto (2005), que ainda apresenta a Tabela 4. Outros perfis que são utilizados nas construções em LSF são as tiras planas para estabilização dos painéis e formação de ligações, as cantoneiras para ligações onde não é adequado o uso de um perfil Ue e a cartola como ripas do telhado.

Tabela 4 - Dimensões nominais usuais dos perfis de aço para *Steel Framing*, conforme NBR 6355

DIMENSÕES (mm)	DESIGNAÇÃO	LARGURA DA ALMA b_w(mm)	LARGURA DA MESA b_f (mm)	LARGURA DO ENRIJECEDOR DE BORDA – D (mm)
Ue 90x40	Montante	90	40	12
Ue140x40	Montante	140	40	12
Ue 200x40	Montante	200	40	12
Ue 250x40	Montante	250	40	12
Ue 300x40	Montante	300	40	12
U 90x40	Guia	92	38	-
U 140x40	Guia	142	38	-
U 200x40	Guia	202	38	-
U 250x40	Guia	252	38	-
U 300x40	Guia	302	38	-
L 150x40	Cantoneira de abas desiguais	150	40	-
L 200x40	Cantoneira de abas desiguais	200	40	-
L 250x40	Cantoneira de abas desiguais	250	40	-
Cr 20x30	Cartola	30	20	12

(Fonte: CRASTO, 2005)

3.8 Sustentabilidade

A sustentabilidade encontra-se apoiada em três pilares: ambiental, econômico e social. Portanto, para que algo seja dito sustentável, estes três tópicos devem ser observados.

As obras em aço, em geral, são projetadas milimetricamente e com racionalização de material, ou seja, o resíduo em obras dessa natureza tende a ser reduzido (LSF de 3 a 5% da obra, enquanto na alvenaria 30 a 60%). Ainda assim, mesmo que produzido, este tem destinação garantida para reciclagem, sendo que o aço pode ser reciclado inúmeras vezes sem a perda de suas propriedades. Os

resíduos destas obras podem ser vendidos para terceiros, como exemplo o OSB e o *Plywood*, que após processados podem virar novas placas madeiradas, e isto gera um ciclo.

As obras em *Light Steel Frame* além de ter as vantagens de ser em aço, ainda apresentam vantagens no quesito social. Pessoas com mobilidade reduzida podem ser empregadas naturalmente em obras dessa tipologia, pois os perfis são leves (de fácil manuseio) e o serviço de montagem pode ser feito com ferramentas que não exigem muito esforço do funcionário, como as parafusadeiras.

Também no quesito social, o funcionário que trabalha em obras de LSF tem uma melhor qualidade do ambiente de trabalho com menos umidade e menos risco ergonômico, relacionado ao carregamento de pesos. Estas características permitem a inclusão de mulheres e PNE. Também pela simplificada execução é possível a contratação de pessoas sem experiência de obra.

Os resíduos gerados, desde que separados corretamente de acordo com o CONAMA (Resolução 307 de 05 de julho de 2002), são em sua maioria possíveis de serem reciclados. As placas de madeira utilizadas nas obras podem ser recicladas facilmente, e podem servir até mesmo para formação de outras placas.

A banda acústica, camada que separa os painéis da laje, pode ser feita com a reciclagem de *pneus*, o que garante a retirada de *pneus* inservíveis do meio ambiente, evitando a extração de mais matéria-prima para sua fabricação.

No quesito econômico, o LSF apresenta custo relativamente maior do que o de uma obra convencional, porém as obras são muito mais rápidas e com menos desperdício, coisas que devem ser calculadas também, e espera-se que com a popularização desse método construtivo, os custos diminuam.

Nas certificações ambientais, como LEED, AQUA, PROCEL, Casa Azul, GBC Brasil Casa, as obras em aço têm grande aceitação devido à racionalização dos processos construtivos, o que implica na redução de resíduos.

4 CARACTERÍSTICA DO SISTEMA CONSTRUTIVO

4.1 Construção em *Light Steel Framing*

4.1.1 Dimensionamento estrutural

Para o cálculo de qualquer sistema estrutural, ocorre a contabilização de cargas que a estrutura deve suportar. A diferença entre uma estrutura em concreto armado convencional (Lajes, Vigas e Pilares) para uma estrutura em *Light Steel Framing*, é a forma que a carga é transportada para a fundação. Na convencional, as cargas são passadas de andar para andar através de pilares, ou seja, pontualmente, enquanto no LSF, as cargas são distribuídas ao longo dos painéis compostos pelos perfis metálicos.

Coelho (2014) define esforços concentrados como "(...) esforços que atuam de forma pontual sobre a estrutura, isto é, toda sua carga está concentrada sobre um único ponto." Esta forma é a mesma com que uma estrutura convencional está configurada. O autor apresenta a desvantagem deste método, "isso exige que esses elementos sejam mais robustos, para suportarem as solicitações."

"Estruturas LSF seguem este princípio de distribuir as cargas pelos diversos elementos da estrutura, isso permite que cada elemento resista a uma parcela pequena da solicitação, possibilitando assim, elementos mais leves." (COELHO, 2014) Como visto, esta configuração de esforços distribuídos possui uma menor parcela de carga por elemento, o que possibilita estruturas mais leves.

As distâncias de um perfil vertical para outro, podem ser de 40 cm ou de 60 cm. Esta distância é recomendada para o melhor aproveitamento das placas de contraventamento e de vedação, que tem pelo menos uma dimensão múltipla deste valor, e também para a possibilidade de modulação dos subsistemas.

Seguindo com a comparação entre os dois sistemas, o LSF é mais leve, ou seja, peso próprio menor precisará de uma menor seção de elementos verticais

("Pilares"), para suportar a mesma carga de vento e de ocupação do que uma estrutura em concreto armado. Apesar disso, deve-se atentar para fenômenos típicos de estruturas esbeltas, a flambagem, que faz com que haja a desestabilização da estrutura antes mesmo desta atingir a carga máxima possível de sua seção.

Agora, se tratando de elementos horizontais ("Vigas"), o LSF também apresenta vantagem, pois com os vãos entre os elementos verticais definidos em 40 ou 60 cm, o momento fletor máximo do vão é reduzido significativamente.

O momento fletor é uma grandeza que relaciona força e distância (força multiplicada pela distância), ou seja, para uma força constante, a única forma de reduzir o momento, é reduzindo a distância. Esta grandeza é utilizada no dimensionamento dos elementos horizontais, por exemplo.

Para se definir o momento fletor no ponto médio de uma estrutura isostática, biapoiada e carregada uniformemente, que coincide em ser o máximo, utiliza-se a equação:

Equação 1:

$$\bar{M} = \frac{q \times l^2}{8}$$

Onde:

\bar{M} - é o momento no ponto médio;

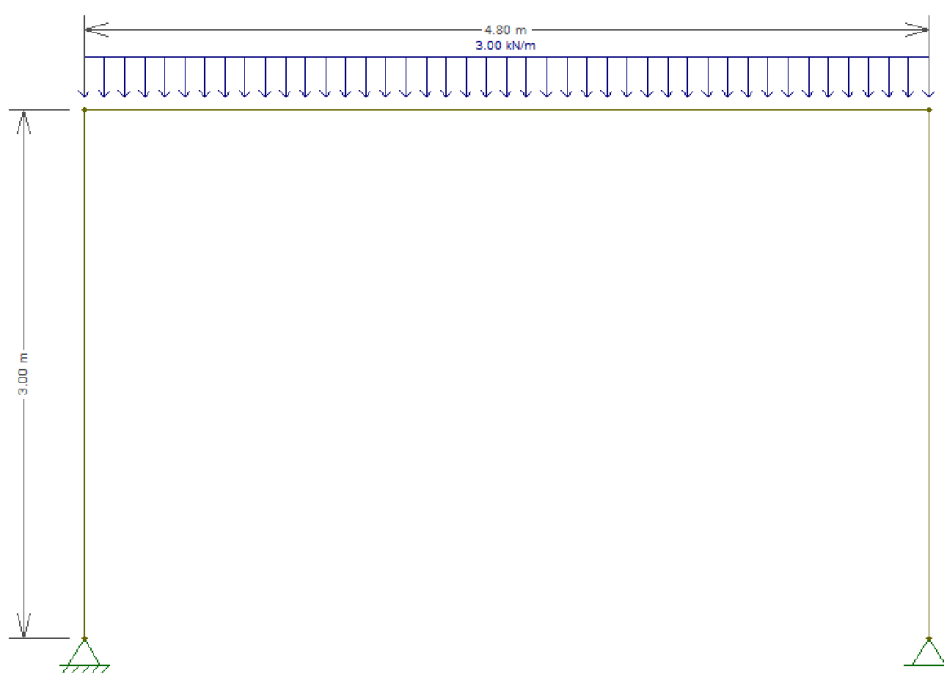
q - é a carga uniformemente distribuída;

l - é o comprimento do vão;

Como visto na Equação 1, o comprimento é a grandeza de maior importância, pois está elevada ao quadrado. As estruturas de concreto armado apresentam vãos médios em torno de 3 a 5 metros, (300 a 500 cm), o que garante que as de LSF com 40 a 60 cm terão seus momentos muito menores, de 25 a 156 vezes menos.

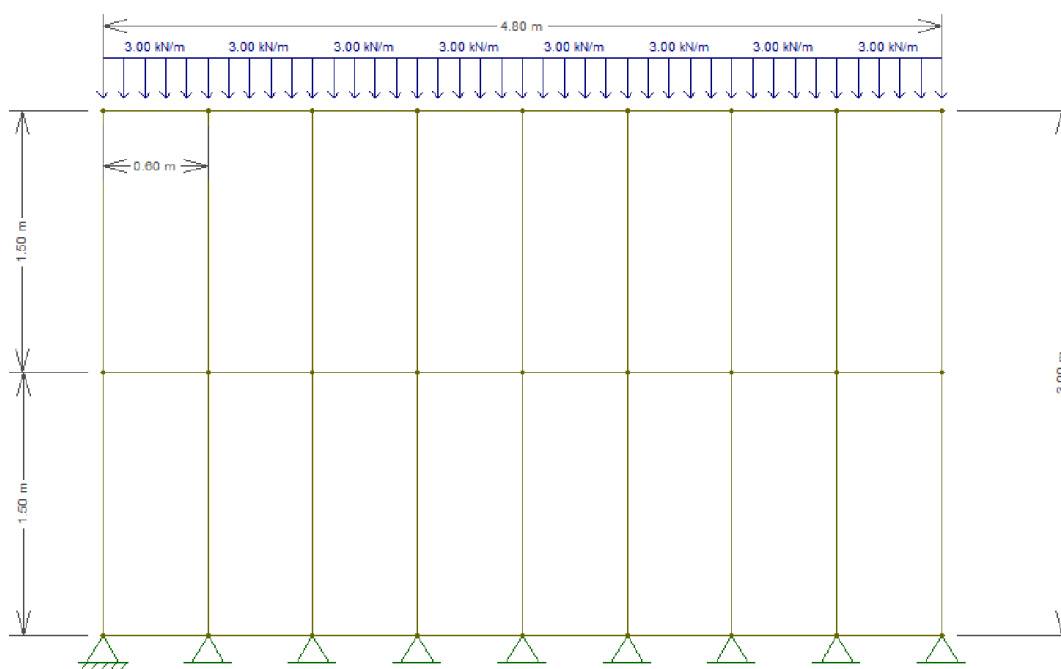
Para ilustrar o que foi dito, elaborou-se os diagramas de esforços (Cortante, Normal e Momento Fletor) dos dois tipos construtivos, para um vão fictício de 4,80 metros, com uma sobrecarga de 3,0 kN/m. Portanto, as unidades de medida estão em kN, kN, e kN.m, respectivamente. Os sistemas iniciais, Figura 26 - Convencional e Figura 27 - LSF com montantes espaçados a cada 60 cm.

Figura 26 - Distribuição de Cargas - Sistema Convencional



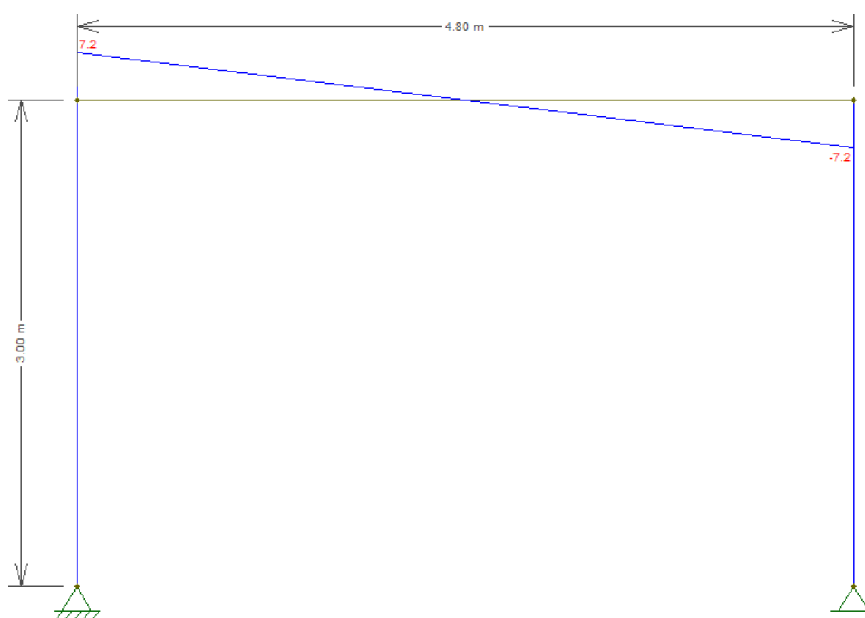
(Fonte: Autor)

Figura 27 - Distribuição de Cargas - Sistema *Light Steel Framing*



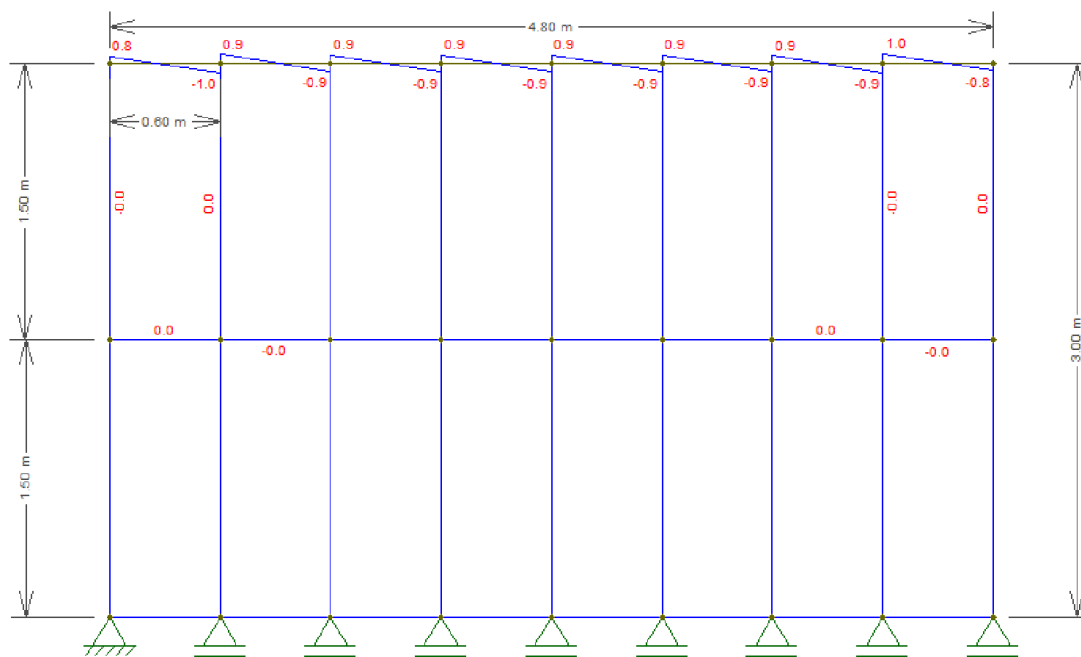
(Fonte: Autor)

Figura 28 - Distribuição de Cargas - Sistema Convencional - Esforços Cortantes



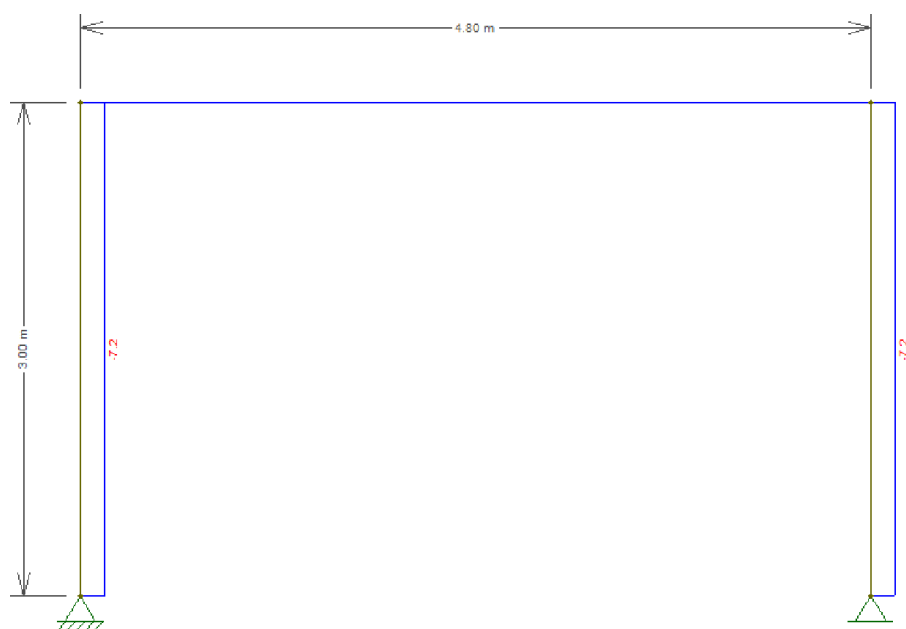
(Fonte: Autor)

Figura 29 - Distribuição de Cargas - Sistema *Light Steel Framing* - Esforços Cortantes



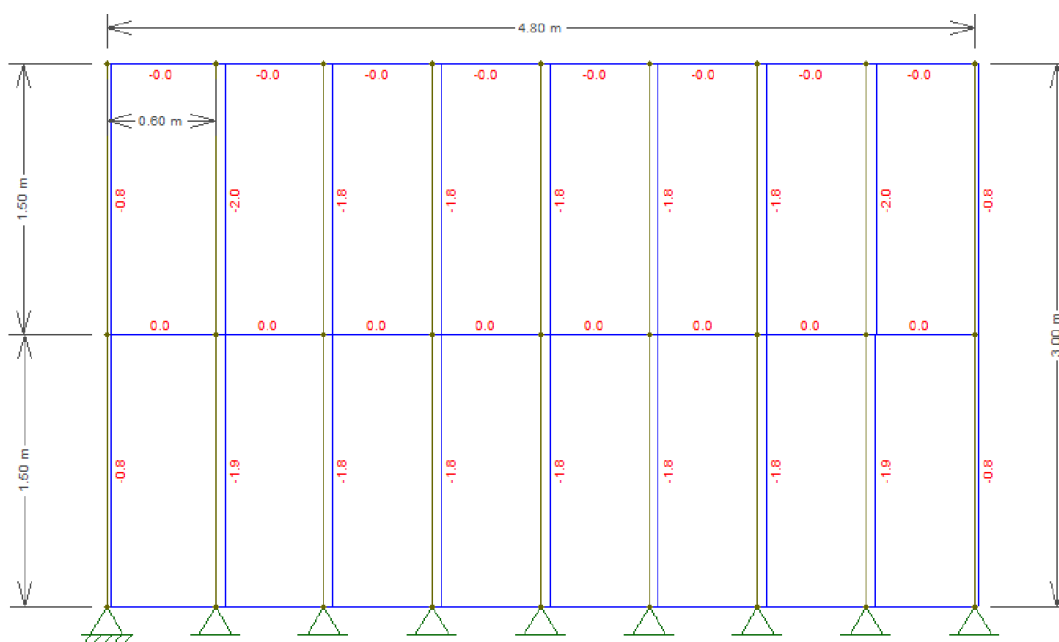
(Fonte: Autor)

Figura 30 - Distribuição de Cargas - Sistema Convencional - Esforços Normais



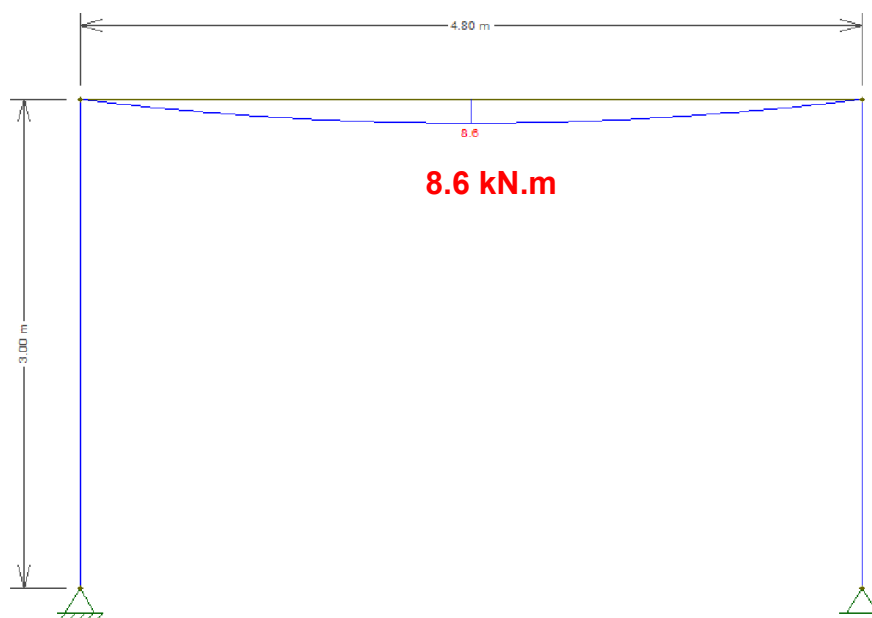
(Fonte: Autor)

Figura 31 - Distribuição de Cargas - Sistema *Light Steel Framing* - Esforços Normais



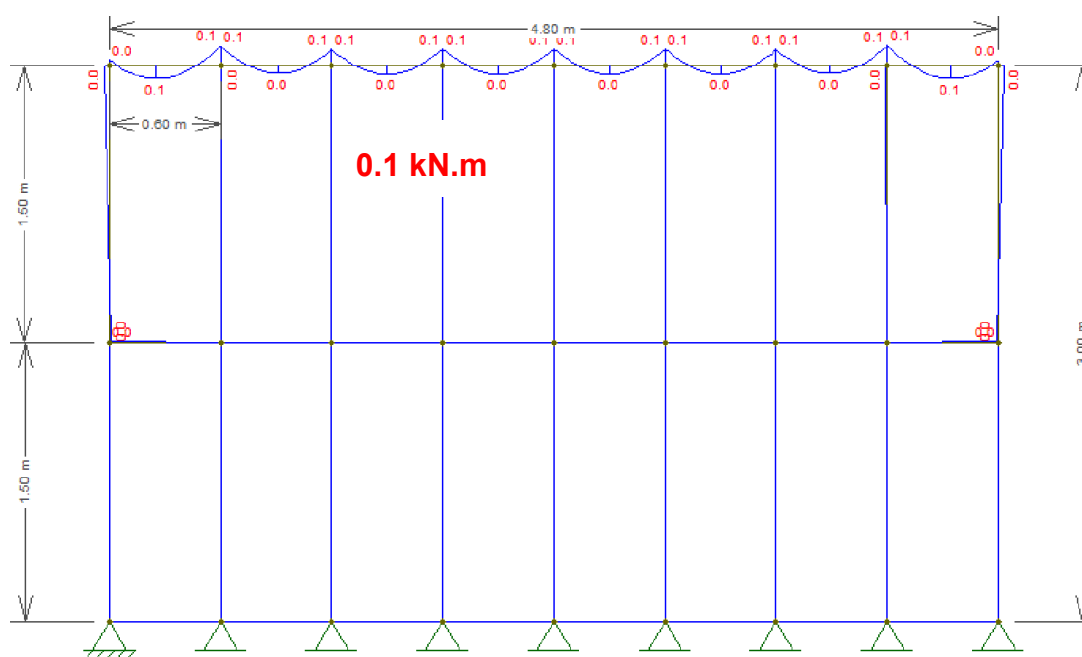
(Fonte: Autor)

Figura 32 - Distribuição de Cargas - Sistema Convencional - Momento Fletor



(Fonte: Autor)

Figura 33 - Distribuição de Cargas - Sistema *Light Steel Framing* - Momento Fletor



(Fonte: Autor)

O esforço cortante máximo de acordo com a Figura 28 e a Figura 29, para o convencional e o LSF, são respectivamente: 7.2 kN e 0.9 kN (0.9 é a moda da amostragem, ou seja, o número que mais se repete), o que dá uma proporção de 8 para 1, ou seja, o LSF apresenta um cortante equivalente a oitava parte do convencional.

Agora, comparando o esforço normal máximo de acordo com a Figura 30 e a Figura 31, que para o convencional e o LSF, são respectivamente: 7.2 kN e 1.8 kN (1.8 é a moda da amostragem), o que dá uma proporção de 4 para 1, ou seja, o LSF apresenta um esforço normal equivalente a quarta parte do convencional.

Finalmente, comparando os gráficos de momento fletor, temos 8.6 kN.m para a convencional e em torno de 0.1 kN.m para o LSF, o que dá algo em torno de 86 vezes a mais de esforço.

Outra coisa que deve-se notar é o surgimento de momentos negativos na LSF, que apesar de serem valores muito pequenos, devem ser levados em conta no projeto.

Ainda como vantagem, tem-se a redução do comprimento de flambagem dos perfis verticais, que passam agora a ter 1,5 m ao invés de 3,0 m, o que dá uma relação de 50% a menos.

4.1.2 Fundação

A estrutura de LSF é muito leve, segundo afirma Trebilcock, 1994 *apud* Crasto, 2005, "Um painel estrutural pesa apenas 20% da parede equivalente em blocos" o que exigirá consequentemente menos da fundação, porém deve-se atentar que a fundação deverá ser contínua, suportando os painéis em toda sua extensão.

Assim como em qualquer obra, a escolha da fundação mais apropriada estará condicionada às condições do terreno, como sua topografia, tipo de solo, nível do lençol freático e a profundidade de solo firme, tudo isso obtido através de sondagens e seguindo recomendações da NBR 6122/2010 - Projeto e execução de fundações.

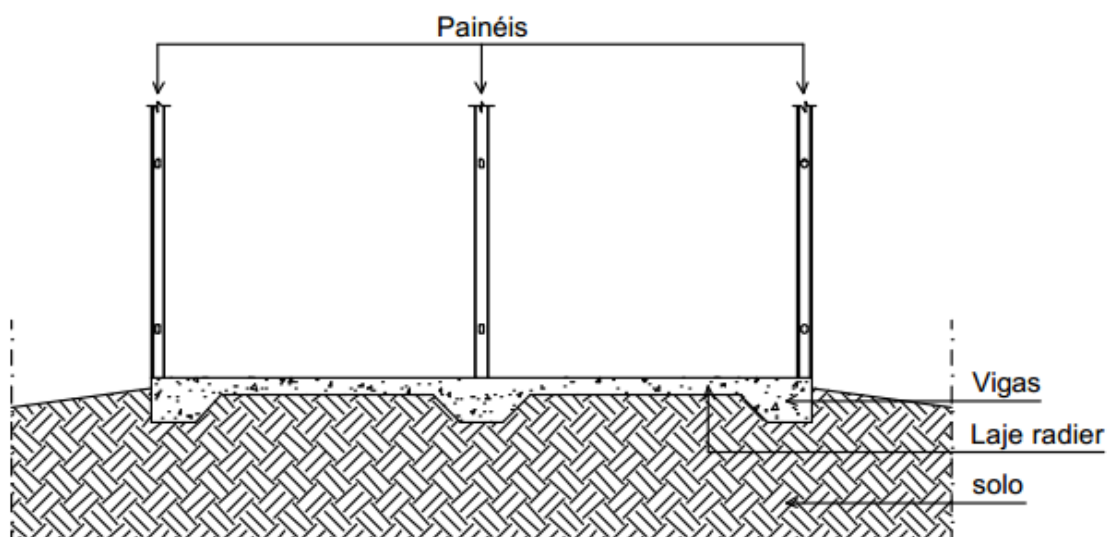
Os tipos de fundação de obras em LSF são os mesmos utilizados em obras convencionais, tomando-se os mesmos cuidados, inclusive com relação ao isolamento contra a umidade. Por serem obras mais leves, geralmente opta-se por fundações diretas (rasas), como o radier ou a sapata corrida. A seguir, tem-se uma melhor explicação da laje *Radier*.

4.1.2.1 Laje Radier

O radier é uma laje que vai transmitir as cargas da estrutura diretamente ao solo. Seus elementos estruturais fundamentais de acordo com Crasto (2005), são a laje contínua de concreto e as vigas no perímetro da laje e sob as paredes

estruturais ou colunas e onde mais for necessário para fornecer rigidez no plano da fundação. (Figura 34). Este é o tipo de fundação mais utilizado para o LSF, afirma a autora.

Figura 34 - Corte esquemático de uma laje radier

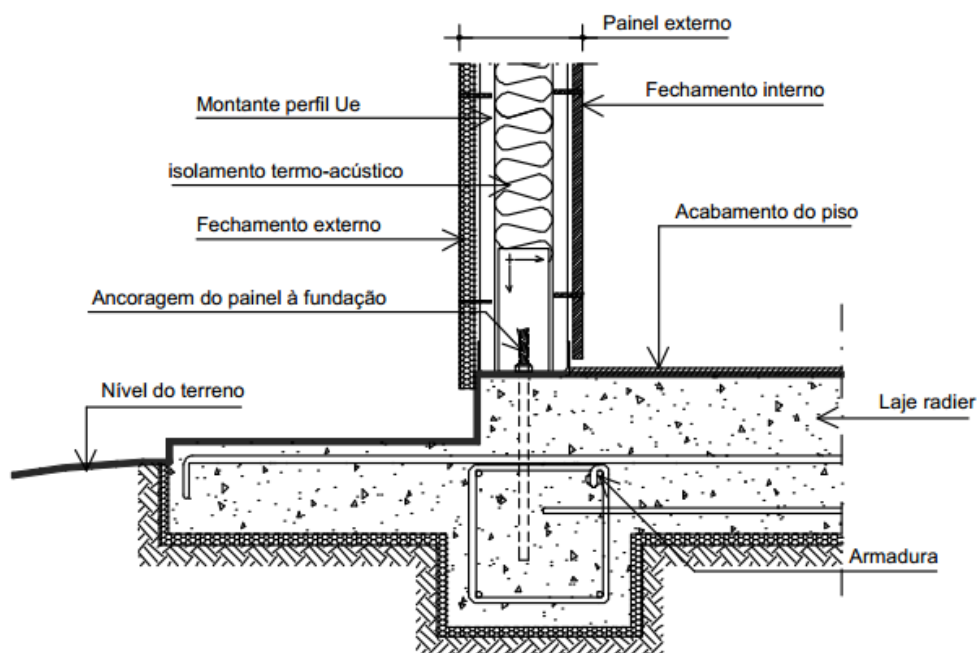


(Fonte: CRASTO, 2005)

Crasto (2005) faz algumas observações com relação ao radier, sobre a umidade. Primeiramente, deve-se atentar para realizar o contrapiso a no mínimo 15 cm acima da cota do solo, para evitar umidade e infiltração; deve-se deixar uma inclinação mínima de 5% nas áreas externas.

Na Figura 35 tem-se uma representação esquemática de ancoragem do sistema LSF ao radier.

Figura 35 - Detalhe esquemático de ancoragem de painel estrutural a uma laje radier



(Fonte: CRASTO, 2005)

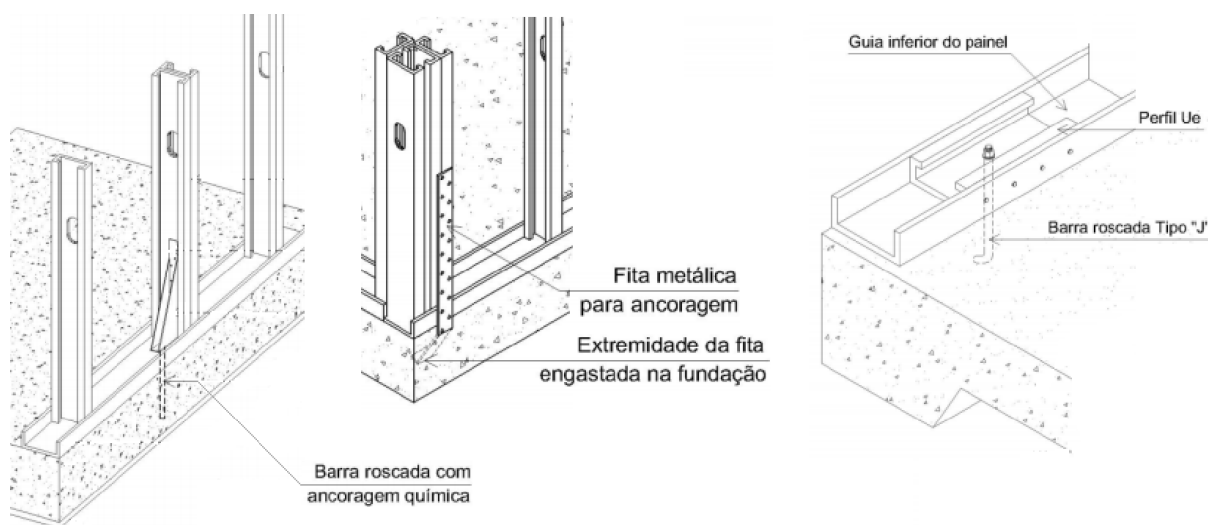
4.1.3 Ancoragem da estrutura na fundação

Em estruturas de concreto armado, a armação dos pilares já nasce no bloco da fundação, através das esperas deixadas. Estas esperas fazem parte da estrutura dos pilares, onde a armação do pilar é amarrada nelas.

No LSF a ancoragem não é feita com a própria estrutura, e sim com peças somente com essa função. Esta ancoragem pode ser de variadas formas, Crasto (2005) cita três formas: ancoragem química com barra rosca, ancoragem com fita metálica e ancoragem com barra rosca tipo "J".

A ancoragem com fita e a com barra tipo "J" são realizadas através do engaste na fundação e colocadas antes da concretagem, e posteriormente presas à estrutura. A ancoragem química com barra rosca ocorre após o posicionamento da estrutura LSF na posição definitiva, e realizam-se furos na laje onde as barras rosca serão chumbadas quimicamente.

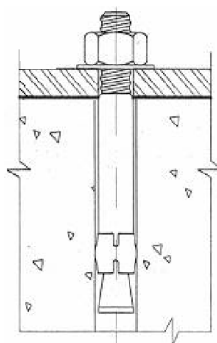
Figura 36 - Ancoragem química, por fita metálica e com barra roscada tipo "J"



(Fonte: Adaptada de CRASTO, 2005)

Também existe o método com chumbadores mecânicos. O *Parabolt* é um tipo destes chumbadores. Ele é semelhante ao com ancoragem química, porém, o fator que prende ele a laje é a pressão mecânica.

Figura 37 - Chumbador mecânico tipo *Parabolt*



(Fonte: Adaptado de SISTEMA FIEC, 2014)

Durante a montagem, antes de ocorrer a ancoragem definitiva, os painéis são presos à fundação com uma pistola de pólvora através de pinos (Figura 38) ou então com parafusos. Isto serve para "manter o prumo dos painéis enquanto são montados e conectados a outros painéis do pavimento e até que seja feita a ancoragem definitiva. Ou no caso de painéis não estruturais como fixação para evitar deslocamentos laterais." (CRASTO, 2005).

Figura 38 - Pinos fixados com pistola de pólvora para fixação provisória da estrutura



(Fonte: COELHO, 2014)

4.1.4 Cobertura

A cobertura tem função estética e também de proteger a edificação de intempéries, para tal é necessário a escolha correta dos materiais para que o façam, atendendo à arquitetura e aos requisitos técnicos. Os principais fatores observados para a escolha da cobertura são: comprimento dos vãos, ações da natureza (chuva e vento), arquitetura, disponibilidade de matéria prima e o custo-benefício.

As coberturas em LSF atendem muito bem a todos os quesitos para a escolha do tipo do telhado, e inclusive podem ser aplicadas tanto nas obras em LSF, como em obras convencionais, o que acontece muito em reformas para modernização de edificações (*Retrofit*).

Os elementos de uma cobertura são: a vedação (telhas), a estrutura (armação, ripas, caibros, terças, treliças e contraventamento) e o sistema de escoamento de águas pluviais (condutores, calhas e rufos). A estrutura deve suportar todas as cargas permanentes (peso próprio, forro, entre outros), ações variáveis (intempéries, sobrecarga da manutenção, entre outros), e ações decorrentes do processo construtivo ou de montagem, tudo de acordo com a NBR

8800 - Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios.

As coberturas em LSF seguem as mesmas características e princípios das convencionais, porém, o que se destaca é o tipo do material que compõem a estrutura, na convencional usa-se muitas vezes madeira ou então perfis metálicos, e na LSF exclusivamente perfis leves de aço. A seguir, tem-se uma melhor explicação das coberturas em LSF.

Para executar coberturas em LSF, Terni, Santiago e Pianheri (2009) indicam que os perfis destas são os mesmos da estrutura da parede, que são os perfis U e Ue (U enrijecido), com alma de 90 mm, 140 mm ou 200 mm de altura. Para o caso de grandes vãos, ou de carregamentos maiores, pode-se usar treliças planas, porém deve-se atentar para a estabilização lateral destas através de fitas metálicas ou perfis de contraventamento.

O *in-line framing* permanece para a estrutura da cobertura, ou seja, busca-se ao máximo que os perfis descarreguem as cargas verticalmente uns nos outros, evitando assim a criação de esforços de momento provenientes de excentricidade.

As coberturas podem ser lajes ou telhados, que são a solução mais comum entre as obras de LSF. Estes telhados podem ser de diversas formas, assim como nas obras convencionais, sendo planos, curvos ou mistos, e com uma ou várias superfícies ("águas"). Terni, Santiago e Pianheri (2009), apresentam vantagem aos telhados inclinados, pois estes têm a capacidade de criar uma proteção térmica, através da camada de ar entre a cobertura e a laje, ou forro.

Os telhados inclinados podem ter vários tipos de telhas, sendo que se forem do tipo cerâmicas ou *shingle* será necessário um apoio contínuo, geralmente de madeira de fibras orientadas (OSB, de acordo com a Figura 39), e ainda com impermeabilização adequada, de acordo com Terni, Santiago e Pianheri (2009). As telhas *shingle* apresentam um acabamento final diferenciado e possibilitam telhados

com inclinações muito elevadas, podendo chegar a quase 90° em relação ao eixo horizontal. Essas características as tornam muito atraentes para a arquitetura.

O uso de telhas metálicas garante ao sistema mais rigidez e também possibilita maiores vãos entre os caibros. No caso de estruturas que utilizem caibros (Figura 39) ao invés de treliças (Figura 39), tem-se um custo reduzido devido ao menor uso de aço, mas há casos em que seja necessário o uso de treliças para vencer maiores vãos e/ou carregamentos.

Figura 39 - OSB como apoio para as telhas / Estrutura com treliças / Estrutura com Caibros



(Fonte: TERNI, SANTIAGO e PIANHERI, 2009)

Os caibros apóiam-se na cumeeira (peça horizontal da estrutura do telhado localizada em seu pico) e nos painéis da estrutura vertical. Nessas ligações recomendam-se cuidados para com os perfis, através do uso de enrijecedores de alma e cantoneira aparafusadas às guias. Estes caibros devem ser contraventados, pois não têm rigidez lateral que suporte as ações do vento, conforme dito por Terni, Santiago e Pianheri (2009).

As treliças são uma excelente forma de construir, pois podem vencer vãos muito grandes sem a necessidade de apoios intermediários, além disso, os perfis são muito leves e resistente às pragas. Nas treliças, deve-se atentar para as ligações das barras, através do uso de enrijecedores evitando a flambagem local dos banzos (partes superior e inferior da treliça). As treliças podem ser montadas com o uso de chapas *Gusset* ou aparafusadas pelas almas, conforme a Figura 40.

Figura 40 - Treliça montada com chapa Gusset e uma com parafusamento das almas



(Fonte: TERNI, SANTIAGO e PIANHERI, 2009)

Os beirais em treliças são feitos através do prolongamento do banzo superior, e com as bordas arrematadas por perfis U. O uso do beiral com pingadeira é fundamental para proteger a estrutura do escoamento indevido da água da chuva.

Seguem uma foto de um beiral de uma treliça e um exemplo de cobertura do tipo telhado com quatro "águas" na Figura 41.

Figura 41 - Beiral / Telhado com quatro "águas"



(Fonte: TERNI, SANTIAGO e PIANHERI, 2009)

É necessário o uso de contraventamento adequado para as treliças, ou seja, bem dimensionado e bem executado, pois estas apresentam instabilidade lateralmente. O contraventamento possibilita que o telhado trabalhe monoliticamente e assim absorva os esforços de torção que uma estrutura pode sofrer através da ação de intempéries.

4.1.5 Instalações

As instalações elétricas, hidráulicas, de telefonia, *internet*, gás, cabos de TV e de aquecedor solar são concebidas da mesma forma que em construções convencionais. O dimensionamento e uso dos materiais é o mesmo. Podem ser utilizados PVC (policloreto de vinila), PEX (polietileno reticulado), PPR (polipropileno copolímetro random), CPVC (policloreto de vinila clorotado), cobre, entre outros. No caso do uso de tubos de metal, assim como o cobre, devem ser utilizados espaçadores garantindo que não haja contato entre estes tubos e a estrutura LSF, evitando assim a corrosão eletrolítica (Figura 42).

Alguns cuidados devem ser tomados, apesar da liberdade de escolher o material para os sistemas. O registro dos chuveiros deve ser fixado com peças auxiliares (Figura 42). No caso de instalações elétricas, existem caixas elétricas próprias para instalação em paredes de gesso acartonado, porém as tradicionais também funcionam através do uso de suportes.

Figura 42 - Tubulação de cobre com proteção nos perfis / Apoios para os pontos de água



(Fonte: Cedida por COELHO, 2014)

No caso da realização de furos entre montantes e vigas de piso, esses podem ser furados sem reforço, porém devem ser levados em conta no projeto estrutural. Os furos devem ser feitos com seu maior eixo coincidindo com o eixo

longitudinal do perfil, e devem ser feitos respeitando distâncias mínimas de acordo com a NBR 15253/2005.

As tubulações de esgoto devem seguir de preferência sob a laje (Figura 43), dentro do forro, pois assim há a necessidade da realização de menos furos. O problema destas tubulações é que apresentam grandes diâmetros geralmente, e ao ser necessário um furo em alguma peça estrutural, o projetista deverá ser consultado. A Figura 43 apresenta a tubulação passando dentro das treliças que compõem a estrutura da laje.

Figura 43 - Tubulação de esgoto passando dentro das treliças da laje



(Fonte: Cedida por COELHO, 2014)

Nas instalações se torna cada vez mais evidente a necessidade de um projeto bem compatibilizado, e concebido dentro das características do LSF. As tubulações devem evitar coincidir com treliças verticais de contraventamento, o que torna o processo lento para a realização de muitos furos, e também pode comprometer a estrutura.

As instalações em LSF então menos passíveis de sofrer danos do que em obras convencionais, onde as instalações são colocadas na laje antes da concretagem, e correm riscos durante a concretagem. No LSF as instalações são postas após o fechamento externo, e antes do isolamento, e consequentemente antes do interno. As paredes acabam funcionando como *shafts* e possibilitam reparos de forma mais simples.

As tubulações que passam pelos perfis devem ser protegidas na região do furo, evitando rasgos na tubulação e também que vibrações sejam passadas para a estrutura (Figura 44). Apesar da possibilidade de passar tubulações na diagonal, é recomendado que estas sigam na horizontal ou vertical, e que sigam à risca os projetos, facilitando furações nas paredes e minimizando as chances de danos.

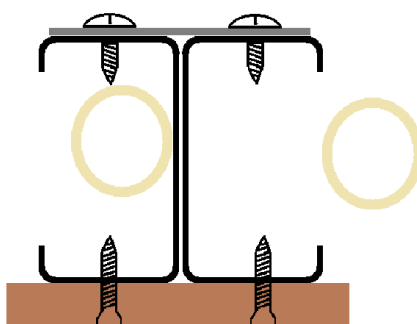
Figura 44 - Peças plásticas que protegem os conduítes



(Fonte: TERNI, SANTIAGO e PIANHERI, 2008b)

As tubulações devem seguir por fora dos perfis, evitando que os parafusos danifiquem a tubulação, conforme apresentado na Figura 45.

Figura 45 - Como não fazer / Como fazer



(Fonte: Autor)

Os testes nos sistemas devem ser feitos antes do fechamento definitivo, pois caso haja algum problema, ainda será fácil corrigir. Nesse tipo de sistema LSF, tudo ocorre de forma linear, sem necessidade de quebrar a parede onde for passar tubulações. Isso reduz trabalho, resíduos, ou seja, tudo favorece a divulgação e utilização deste método no Brasil.

É possível em locais com grande repetição de unidades habitacionais, pode ser interessante a pré-montagem de *kits* de instalações fora do local definitivo. Cada *kit* é montado com os componentes necessários e nos tamanhos desejados, assim, é só transportar e fixar no local desejado. Isto é muito útil em instalações hidráulicas feita com tubos flexíveis, onde é possível colocar até os terminais.

4.1.6 Fechamento

O fechamento convencional feito com blocos cerâmicos requer vários cuidados, como seu prumo, esquadro e alinhamento dos vãos, e ainda requer uma camada de acabamento, o reboco, que é precedida pelo chapisco. Todos estes processos são feitos de forma bem artesanal, e cada etapa deve ser seguida de cada vez, por exemplo, após o termino da elevação da alvenaria é necessário aguardar a secagem da argamassa para realizar o chapisco, e após o chapisco é necessário aguardar sua secagem para a realização do reboco.

Esta alvenaria ainda será quebrada em diversos pontos para a passagem das instalações, gerando assim, uma grande quantidade de resíduos.

Já os sistemas de fechamento em LSF tendem a ser mais racionalizados. Sua montagem vai seguir o prumo, esquadro e alinhamento dos vãos de acordo com os painéis da estrutura já instalados. Com estas etapas sendo descartadas, tem-se um grande ganho em produtividade, e consequentemente, a redução de prazos.

A seguir, são apresentadas algumas definições acerca de fechamentos, e os principais tipos de fechamentos para os sistemas em LSF.

Terni, Santiago e Pianheri (2009), definem fechamento como "os componentes posicionados externa e internamente à estrutura para a formação da vedação", sendo estes aplicados na estrutura. Os autores dividem o sistema de vedação vertical em três partes:

- Fechamentos externos: delimitam as áreas molháveis (por chuva);

- Isolantes térmicos e acústicos: são colocados entre as placas e os montantes;
- Fechamentos internos: são instalados nas áreas secas ou úmidas internas.

Para a escolha dos componentes do sistema de fechamento, deve-se atentar para a compatibilidade com o sistema LSF, seu peso, dimensões e facilidade de execução (TERNI, SANTIAGO e PIANHERI, 2009). Acrescentam-se ainda outras coisas que se deve buscar: segurança estrutural e ao fogo; estanqueidade; conforto termoacústico, tátil e visual; durabilidade e economia.

4.1.6.1 *Fechamento externo*

"Para os fechamentos externos, que estão sujeitos às ações das intempéries, sem dúvida, uma das maiores preocupações é quanto às propriedades em relação à estanqueidade e à durabilidade, seguida da condição de ser estética." (TERNI, SANTIAGO e PIANHERI, 2008a). Portanto o material que fará o fechamento externo tem que ser: estanque, durável e atender esteticamente, características estas presentes nas placas cimentícias.

Terni, Santiago e Pianheri (2008a), citam dois componentes do fechamento externo, o OSB e as placas cimentícias, e acrescenta-se também o compensado estrutural, sendo que as placas podem ser aplicadas em forma de *Siding* ou propriamente em forma placas. O *Siding* são tiras de placas cimentícia sobrepostas, de acordo com os autores, e conforme pode ser visto na Figura 46.

Figura 46 - Siding cimentício.



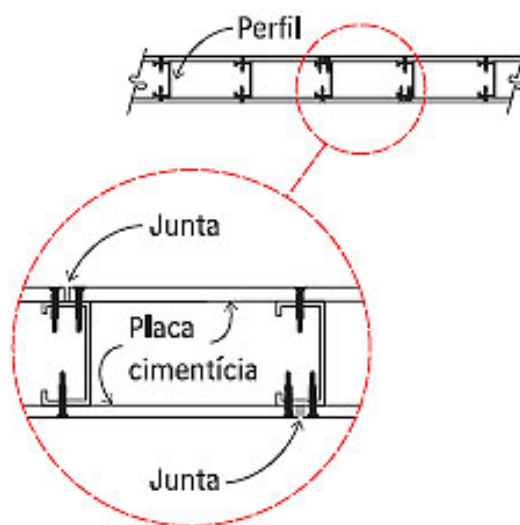
(Fonte: TERNI, SANTIAGO e PIANHERI, 2008a)

De acordo com Terni, Santiago e Pianheri (2008a), as placas cimentícias usadas para a função de fechamento externo possuem grande compatibilidade com o LSF, pois as mesmas são "leves, finas, impermeáveis, incombustíveis, possuem compatibilidade modular, resistência aos impactos, baixa condutividade térmica, resistência a cupins e microorganismos, elevada durabilidade e permitem inúmeros acabamentos".

As placas são mais leves do que paredes em alvenaria, porém dependendo do fabricante algumas podem pesar mais do que as outras. Quanto ao acabamento tem-se a possibilidade de deixar as chapas a mostra.

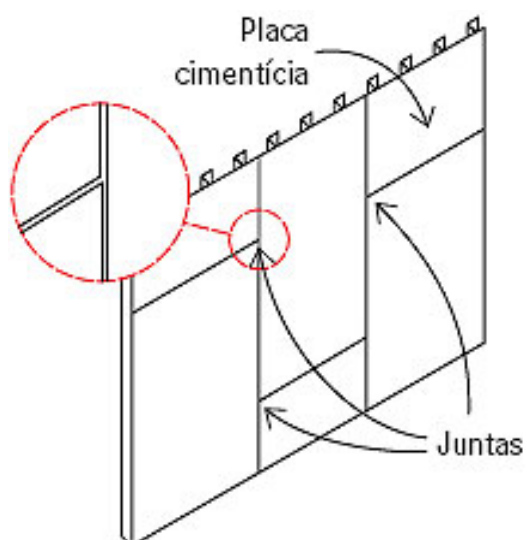
Para o uso destas placas Terni, Santiago e Pianheri (2008a), fazem algumas recomendações, como: armazenar em locais secos, evitar que as juntas internas coincidam com as juntas externas (Figura 47), evitar a ocorrência de quatro vértices no mesmo ponto nas juntas verticais das chapas (Figura 48), as juntas verticais junto ao batente das portas e janelas não devem subir até o teto (Figura 49), e as juntas das placas não devem coincidir com as juntas dos painéis (Figura 50).

Figura 47 - As juntas internas e externas não devem ser coincidentes .



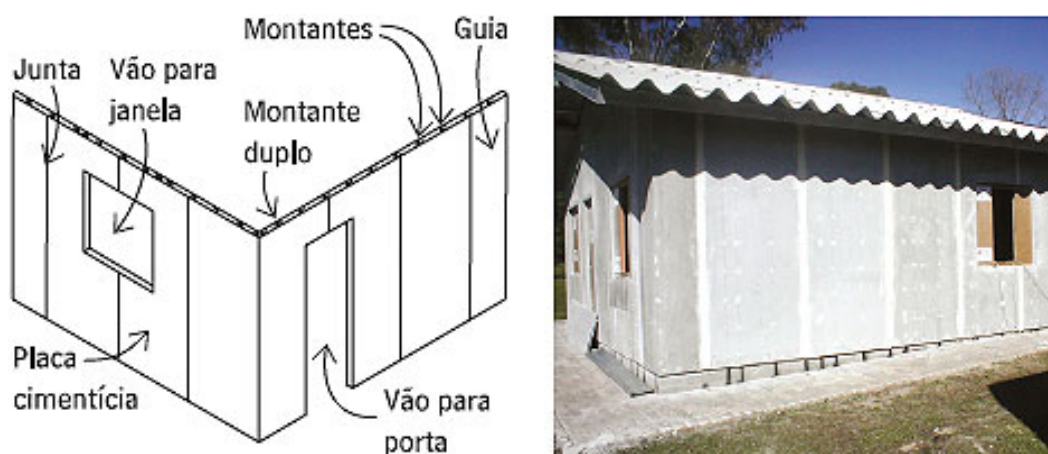
(Fonte: TERNI, SANTIAGO e PIANHERI, 2008a)

Figura 48 - Evitar a ocorrência de todos os vértices no mesmo ponto das juntas verticais



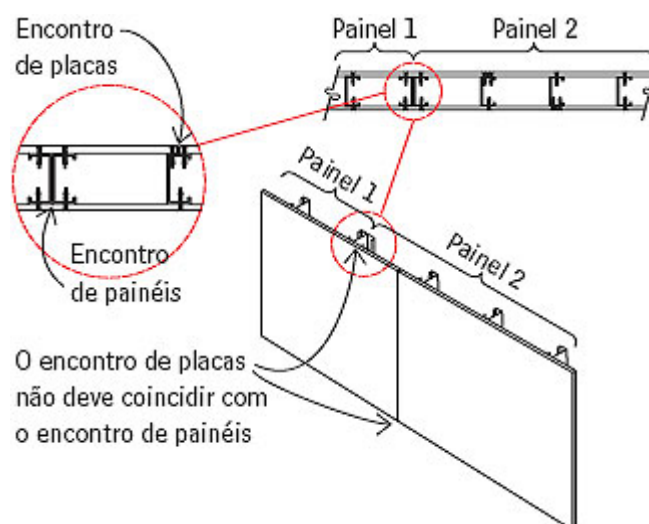
(Fonte: TERNI, SANTIAGO e PIANHERI, 2008a)

Figura 49 - As juntas verticais nos batentes e portas não devem seguir até o teto.



(Fonte: TERNI, SANTIAGO e PIANHERI, 2008a)

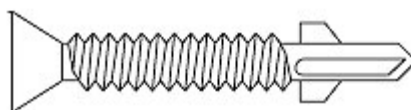
Figura 50 - Juntas de placas e de painéis não devem ser coincidentes.



(Fonte: TERNI, SANTIAGO e PIANHERI, 2008a)

É recomendado também pelos autores que as juntas sejam tratadas com os materiais recomendados pelos fabricantes, e que a fixação seja feita com parafusos autobrocantes, cabeça auto-escariante e aletas de expansão que impedem que o parafuso faça rosca na placa, facilitando a instalação. (Figura 51)

Figura 51 - Parafuso para fixação das chapas



(Fonte: TERNI, SANTIAGO e PIANHERI, 2008a)

O *Siding* cimentício tem as mesmas características das placas cimentícias, e dispensam o uso de placas inferiores, e apresenta um acabamento diferenciado. O *Siding* pode ser usado inclusive apenas como acabamento.

O OSB apresenta como principal função ser estrutural e auxiliar no contraventamento das paredes, e deve ser aplicado antes da cimentícia. Este material deve ser protegido contra a umidade e o vapor, com a membrana anti-vapor (*Tyvek*), presa por grampos. A desvantagem do OSB, de acordo ainda com Terni, Santiago e Pianheri (2008a), está em suas dimensões que são incompatíveis com outras placas. Portanto a melhor solução é o uso do compensado estrutural.

4.1.6.2 *Isolantes térmicos e acústicos*

Terni, Santiago e Pianheri (2008a), citam três materiais isolantes termoacústicos: lã de rocha, lã de vidro e painéis de EPS, e indicam que a espessura e a densidade do material dependerão do nível de isolamento desejado. Citam ainda que a própria concepção do sistema que tem duas placas e internamente é preenchido com outro material, proporciona redução acústica através da descontinuidade do meio. A Figura 52 apresenta um exemplo de isolante em casas na Oceania.

Figura 52 - Isolamento termo-acústico.



(Fonte: Cedida por COELHO, 2014)

4.1.6.3 *Fechamento interno*

Os mesmos elementos utilizados no fechamento externo podem ser utilizados para os fechamentos internos, e agora também as placas de gesso acartonado (*Drywall*). Terni, Santiago e Pianheri (2008a), recomendam as placas de gesso *Standard ST* para áreas secas, as placas de gesso tipo RU (resistentes à umidade) para as áreas sujeitas a umidade de forma intermitente e as placas cimentícias para as áreas molháveis, e indicam que deve-se seguir as mesmas recomendações de instalação das placas do sistema *Drywall*. Estas também devem ser RU (resistentes ao fogo).

Nenhuma das placas, seja interna ou externa, deve estar em contato com o solo ou com a fundação, e os projetos devem prever juntas de dilatação, evitando assim possíveis fissuras. As placas levantadas do chão evitam a umidade por capilaridade.

Figura 53 - Fechamento interno em *Drywall*.



(Fonte: Cedida por COELHO, 2014)

4.1.6.4 *Caixilhos e outros sistemas*

É muito importante que, antes da aplicação das placas de fechamento, definam-se as fixações e acabamentos de caixilhos. Dependendo dessas definições, as placas são colocadas antes ou depois. As portas e janelas, dependendo da fixação, podem ser aparafusadas diretamente na estrutura, por grapas, ou fixadas com espuma de poliuretano. (TERNI, SANTIAGO e PIANHERI, 2008a)

Portanto é imprescindível que seja feita a escolha do caixilho antes da aplicação dos fechamentos, garantindo a estanqueidade e acabamento correto do sistema.

4.1.7 *Sísmica*

No Brasil não temos muitos incidentes desta natureza, mas vale apresentar esta característica do sistema LSF. O LSF apresenta um grau de rigidez menor do que estruturas convencionais. Por ser em aço, ele permite uma maior

deformação do que o concreto, enquanto o concreto tem o limite de plastificação em 3‰ , o aço tem em 15‰ o seu limite. Entende-se por *plastificação* o nível de solicitação em que os materiais param de trabalhar na fase elástica, cujo gráfico de tensão e deformação são proporcionais.

Também vale notar que ao dimensionar estruturas em concreto armado, através do tipo de momento, positivo ou negativo, que é feita a escolha da posição do aço, respectivamente na parte inferior ou superior do elemento, pois o concreto resiste muito melhor à compressão do que à tração; onde ocorre a solicitação à tração é necessário a inserção de aço.

O aço resiste igualmente à tração e à compressão, portanto, em caso de inversão do momento, este continuará trabalhando plenamente, o que garante vantagem com relação ao concreto armado.

Dependendo do tipo das ligações da estrutura metálica, ainda poderá haver outra vantagem, pois existem as ligações semi-rígidas, enquanto no concreto isso não é possível com a mesma funcionalidade. Ainda nas ligações, a Banda Acústica ou o neoprene auxiliam em casos de sismos, pois estas são compostas de materiais deformáveis e impedem o atrito direto da estrutura metálica com a fundação, sem falar que amortecem os impactos. A Figura 54 apresenta a banda acústica.

Figura 54 - Banda Acústica aplicada



(Fonte: Cedido por COELHO, 2014, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

4.1.8 Incêndio

De acordo com o , sobre o Sistema Construtivo a seco Saint-Gobain - "*Light Steel Frame*", tem-se um relatório sobre a resistência ao fogo do sistema adotado, mais especificamente sobre a composição de uma parede interna.

"As faces das paredes de geminação e as faces internas das paredes de fachada eram compostas por materiais incombustíveis, não se caracterizando como propagadores de chama e constituídas de quadros formados por perfis estruturais leves de aço zincado e fechamento com duas chapas de gesso para *drywall* de 12,5 mm em cada uma das faces da parede e núcleo de manta de lã de vidro de 50 mm de espessura e massa específica aparente de 12 kg/m³. As paredes de geminação seguem até a face inferior do telhado. A determinação da resistência ao fogo das paredes de geminação foi realizada por ensaio. O ensaio realizado, com uma carga vertical uniformemente distribuída no topo da parede, condizente com uma casa térrea, de 600kgf/m, considerou resistência ao fogo de 30 minutos. Conclui-se, portanto, que as paredes de geminação do sistema construtivo atendem ao critério da DIRETRIZ SINAT N°003 – Revisão 1 quanto à segurança ao fogo." (DATec nº 14, 2013)

Portanto conclui-se que as paredes atenderam os critérios previstos.

5 ACOMPANHAMENTO DA OBRA

5.1 Apresentação

A obra escolhida para estudo de caso foi do tipo residencial de 2 pavimentos com aproximadamente 200 m² localizada no Condomínio Mini Granja do Torto, Granja do Torto - Distrito Federal.

Figura 55 - Localização da obra



(Fonte: GOOGLE Maps, 2014)

O acompanhamento desta obra foi possível graças às concessões feitas pela empresa Zárya e pelo proprietário, Sr. Ovidio.

Os projetos da residência encontram-se nos anexos deste trabalho.

5.2 Materiais e equipamentos

A seguir, os materiais e equipamentos utilizados na obra em questão. A Figura 56 apresenta a maioria reunida, e a seguir cada um isoladamente.

Figura 56 - Materiais utilizados.



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

5.2.1 Perfis

Foram utilizados painéis pré fabricados com perfis Ue (bordas e alma enrijecidos) com $b_w = 100\text{mm}$ (33+34+33), $b_f = 46\text{mm}$, $e=0,98\text{mm}$ $D= 9,20\text{mm}$, e montantes em perfis U com dimensões equivalentes para encaixar os perfis Ue. Os perfis utilizados na laje da caixa d'água são os mesmos, porém a espessura da chapa é de 1,25mm.

Figura 57 - Armazenagem dos painéis.



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

5.2.2 Parafusos

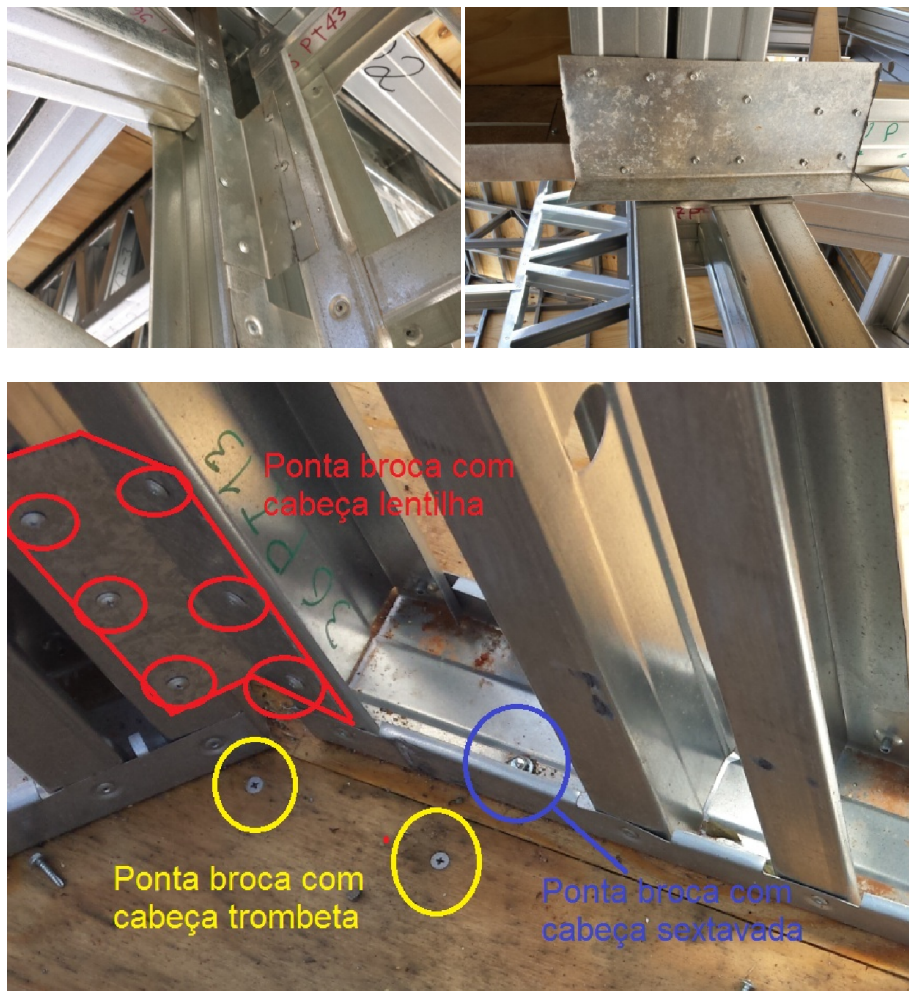
Figura 58 - Parafusos utilizados



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Na sequência tem-se: o *Parabolt*, que faz a fixação da estrutura na fundação; Ponta broca com cabeça sextavada, usado para fixar as guias dos painéis do pavimento superior nas guias do pavimento inferior, passando pelo *Plywood* ; Ponta broca com cabeça trombeta, para fixar as placas de OSB ou *Plywood* nos perfis; Ponta agulha com cabeça trombeta para fixar as placas cimentícias nas placas de *Plywood*; Ponta broca com cabeça sextavada para ligar as treliças nos painéis; e ponta broca com cabeça lenticular para reforços de ligações de treliças ou locais de emenda de painéis com painéis, onde terá placas por cima.

Figura 59 - Parafusos: Cabeça lenticilha com ponta broca / Cabeça sextavada com ponta broca para ligação de treliças / Várias ligações



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

5.2.3 Lã de rocha

A lã de rocha é um isolante termo-acústico e foi escolhido dentro dos níveis de isolamento desejados, tendo 51 mm de espessura.

Figura 60 - Lã de rocha



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

5.2.4 Banda Acústica

A banda acústica adotada foi produzida com borracha proveniente da reciclagem de *pneus*, e serve para separar as guias da estrutura da fundação. Isto evitará a corrosão eletrolítica e a propagação de possíveis ruídos da estrutura para o piso.

Figura 61 - Banda acústica



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA, 2014)

5.2.5 Base Coat System

Na Figura 62, tem-se na seqüência, a tela, massa e fita, todos utilizados para o acabamento das placas cimentícias do fechamento externo. Todos esses materiais juntos compõem o sistema de cobertura de fachada. O processo de aplicação é simples, e funcionários de obras tradicionais facilmente o realizam.

A massa é para ser preparada na própria embalagem, evitando a sujeira na obra, e também evitando desperdício. A aplicação da tela e da fita é semelhante ao processo de colocação de telas de poliéster em impermeabilizações.

Figura 62 - Tela, massa e fita



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA, 2014)

5.2.6 Placa cimentícia

A placa cimentícia é a camada final do fechamento externo, e é de fácil manuseio. Na Figura 63 é possível perceber um operário realizando cortes com apenas um estilete.

Figura 63 - Placa cimentícia



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA, 2014)

5.2.7 Cobertura

Na Figura 64 são apresentadas as telhas *Shingle* e a barreira anticondensante, TEP. A imagens apresentam: A - As telhas *Shingle* ainda na embalagem; B - A face superior das telhas; C - A face inferior das telhas; D e E - A TEP ainda na embalagem; F - A TEP aplicada.

Na parte inferior da telha, tem duas partes adesivas protegidas por fitas. No momento da montagem do telhado, estas fitas são removidas e então as telhas são coladas umas nas outras. Na parte superior da telha, conforme indicado pelas setas, estão duas faixas onde serão coladas as partes adesivas da telha seguinte. Este processo ficará melhor ilustrado no item reservado ao telhado.

Figura 64 - Telha Shingle / Barreira de vapor FIELTEP 15G



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA, 2014)

5.2.8 Membrana de vapor

Na Figura 65 é possível ver um rolo de membrana de vapor (marca Tyvek) e também esta aplicada.

Figura 65 - Rolo da membrana ao fundo / Detalhe da face externa da membrana



(Fonte: Autor, Créditos Zária Arquitetura e Engenharia LTDA, 2014)

5.2.9 Compensado estrutural

O compensado estrutural é uma chapa composta por várias placas de madeira e possui função estrutural, assim como o OSB. Nesta obra optou-se por este tipo de compensado na laje do piso do 1º pavimento, na cobertura e no fechamento externo. Essa opção foi devido às dimensões das placas serem adequadas à modulação dos painéis (múltiplas de 60 cm) e também ter uma melhor fixação dos parafusos, diminuindo o risco da peça estragar com a aplicação excessiva de torque (se comparado ao OSB). Utilizou-se as chapas da marca *Plywood*.

Na Figura 66 é possível ver o compensado estrutural em um de seus usos, piso.

Figura 66 - Compensado estrutural



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA, 2014)

5.2.10 Equipamentos

Na Figura 67 temos na seqüência: Serra circular manual para o corte das placas madeiradas; Marreta de borracha para auxiliar no posicionamento das placas; Furadeira e parafusadeira; Martetele para fazer os furos no radier onde foram colocados os parafusos *Parabolt*; Lixadeira circular equipada com o disco de corte para fazer cortes em perfis metálicos; e por fim o martelo para pregar as tachinhas e pregos.

Figura 67 - Equipamentos



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA, 2014)

5.3 Etapas

5.3.1 Canteiro de obras e mão-de-obra

Devido ao porte desta obra, foi possível a sua realização sem a necessidade da construção de alojamentos e administração, popularmente conhecido como "barracão de obra". O único espaço que foi de uso provisório, foi uma sala, já existente, para a guarda das ferramentas.

No local já havia uma estrutura coberta, ao lado da nova construção, onde se armazenou todos os materiais para a construção, permitindo a proteção destes contra a chuva.

Os painéis chegaram no tempo certo de serem utilizados. Estes representam grande volume, e foram armazenados ao ar-livre, e cobertos por lona somente quando a chuva era iminente.

Nesta obra, havia 3 funcionários fixos, e mais 2 que foram contratados apenas durante a execução do telhado. A equipe contava com o acompanhamento do Engenheiro André Coelho e o mestre da obra Sebastião. O engenheiro apresenta mais de um ano de experiência neste tipo de construções, e o mestre mais de 7 anos de experiência, inclusive tendo trabalhado com o *wood-framing* (o predecessor do LSF) e com o LSF no exterior.

Os funcionários já estavam habituados com este tipo de construção, o que garantiu um excelente desempenho da equipe.

O número de funcionários foi o ideal para o porte da obra. Caso haja muitas obras em seqüência, compensa para a empresa executora adotar profissionais especializados em cada etapa, como por exemplo, os que montam a estrutura, os que fazem os fechamentos, os que fazem as instalações e os que fazem o tratamento externo das placas com tela e massa. Nota-se que é possível no decorrer da obra que duas ou mais equipes trabalhem ao mesmo tempo, como

exemplo a equipe do fechamento das paredes, trabalhando enquanto outra equipe monta o telhado.

5.3.2 Fundação

A fundação adotada nesta obra foi do tipo radier. Antes de sua execução ocorreram os serviços de terraplanagem (corte, aterro e compactação) no terreno, no dia 23/06/2014, e a execução de uma camada com areia e uma camada com brita (dia 30/06/2014), que vão separar o concreto do solo e evitar a umidade direta (Figura 68). Também é possível perceber o início da gabaritagem nestas fotos. A gabaritagem garante a precisão da geometria do radier e o posicionamento das tubulações.

Figura 68 - Limpeza do terreno / Regularização, compactação e camada de brita e areia



(Fonte: Cedido por COELHO, 2014, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Assim, as passagens das instalações de água, esgoto, elétrica, entre outros, foram executadas, para ficarem passando através do radier. Na seqüência: a instalação de uma lona preta, auxiliando na impermeabilização da laje pela parte inferior; o posicionamento das tabeiras (formas laterais); e finalmente a armação composta por telas metálicas e barras de aço com espaçadores também foi posicionada.

Após todas as etapas concluídas, ocorreu a concretagem (dia 18/07/2014). Na concretagem utilizou-se o vibrador, para que não houvesse espaços vazios no interior do concreto. Com a régua de alumínio foi feito um nivelamento da superfície.

Figura 69 - Concretagem após o posicionamento dos tubos, da lona, da armação e da forma



(Fonte: Cedido por COELHO, 2014, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

5.3.3 Estrutura

Após a cura e secagem da fundação, foi possível dar sequência a obra. Com o auxílio dos gabaritos, foi feito o desenho da disposição das paredes, e com isso foi possível inserir a banda acústica (dia 20/08/2014) que garantirá o isolamento entre estrutura metálica e o concreto, impedindo assim a sua corrosão, e a propagação de sons por condução, da estrutura para o piso.

Uma peculiaridade desta obra foi a necessidade da execução de uma parede externa com todas suas camadas, ainda no chão, antes de ser fixada, pois esta fica virada para o muro de limite do terreno, o que impediria de seguir a maneira normal de execução. Na Figura 70 do dia 22/08/2014 as 12:31 horas, é possível ver parte da parede ainda no chão, no centro da imagem, e a outra parte já posicionada.

Figura 70 - Posicionamento da banda acústica e de painéis



(Fonte: Cedido por COELHO, 2014, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

O sistema construtivo foi do tipo "*Platform Framing*" (item 3.6.5), e por painéis (item 3.6.2), portanto os painéis já vieram montados de fábrica, e são na altura de um pavimento. Na Figura 71 (5 horas depois da Figura 70) percebem-se alguns painéis mais altos do que um pavimento, porém estes são até a altura do telhado, que está presente em diversas cotas, conforme poderá ser visto mais a frente. Os painéis são formados por montantes espaçados a cada 60 cm e suas ligações são feitas por rebites e com rebaixo para o posicionamento da cabeça.

Figura 71 - Painéis posicionados e detalhe do rebaixo nos perfis para a cabeça do rebite



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA, 2014)

Para a colocação dos painéis na posição, foi necessário a realização de alguns cortes nos perfis, mais especificamente nas almas que ficaram na face inferior dos painéis, para a passagem das instalações (Figura 72). Estes cortes também podem ser feitos em fábrica, porém, isso exigirá uma precisão maior ainda na hora da locação das tubulações no radier. Na obra, utilizou-se a lixadeira circular equipada com o disco de corte e o alicate de corte para a realização desta tarefa. Deve-se evitar atingir as mesas dos perfis, assim como vários furos próximos.

A elevação dos painéis foi realizada sem o auxílio de máquinas, pois estes são muito leves. Para o posicionamento na vertical de algumas peças foi necessário o uso de escoras metálicas, que são perfis que vieram junto com os painéis justamente para essa função. Na maioria dos painéis não foram necessárias escoras, pois a própria geometria da casa colaborou realizando essa função.

Figura 72 - Posicionamento dos painéis e corte no perfil para passagem do tubo



(Fonte: Cedido por COELHO, 2014, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Ao posicionar os painéis, foi utilizada uma ligação menos rígida do que a definitiva, utilizando pregos fincados a pólvora (item 4.1.3 Ancoragem da estrutura na fundação), que pode ser observado na Figura 73, o que permitiu o melhor manuseio das peças e proporcionando a melhor correção possível com relação a posicionamento, esquadro, tanto na vertical como na horizontal, e prumo dos perfis. Essa ligação teve seu uso até a correção de todos os painéis, e finalmente houve a fixação final da estrutura metálica no radier com o uso de chumbadores do tipo

Parabolt (Figura 73). A ligação entre os próprios painéis era feita com parafusos autobrocantes (Figura 74, b).

Figura 73 - Ligação provisória com pregos fincados a pólvora / Chumbamento com *Parabolt*



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Todas as peças vinham com nome marcado para facilitar a execução e evitar erros. No chão, no local onde as peças seriam instaladas, também foram escritos os nomes das peças, tudo para facilitar a identificação.

Figura 74 - a) Ligação com rebite dos perfis para formar o painel; b) Ligação painel-painel com auto-brocante / Painel com identificação



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA, 2014)

Após o posicionamento dos painéis verticais do térreo, houve sequência na estrutura com a colocação das treliças do teto, que são as do piso do 1º

pavimento, e a montagem da escada (Figura 75). O *Plywood* utilizado na escada tem função estrutural, ou seja, a escada não pôde ser colocada no local definitivo sem antes o mesmo ter sido fixado.

As treliças foram colocadas sem a necessidade de escoras, o que seria diferente em uma obra convencional. Este fato garante rapidez, uma vez que não é necessário tempo colocando escoras, tempo de espera até poder serem removidas, e tempo com o desescoramento. Assim que finalizadas as ligações das treliças, já é possível o início de outros serviços no andar inferior.

Figura 75 - Escada em montagem / Treliças em posicionamento



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

A estrutura foi montada muito rápida, se comparada a uma convencional, e sem a necessidade de formas e escoras (escoras apenas até a fixação permanente, geralmente ocorre sua retirada no mesmo dia), o que impede a execução de outros serviços e retarda a obra.

Com a montagem das treliças feita, foi possível o início do chapeamento do compensado estrutural no piso do 1º pavimento. A cota é mais baixa nas varandas e no banheiro, e o banheiro ainda recebeu uma camada de placa cimentícia para proteção do compensado (Figura 76).

Após o piso executado, deu-se início à colocação dos painéis verticais do 1º piso. Juntamente nesta etapa foram sendo construídos mais três itens: o telhado

que cobre diretamente o térreo, a estrutura do telhado que cobre o 1º pavimento e a estrutura que suporta a caixa d'água, conforme a Figura 77 e a Figura 78. Após esse dia, já não havia mais estrutura a ser executada, a não ser o resto do telhado.

Figura 76 - Placa cimentícia no piso do banheiro / Piso do quarto. Ambos no 1º pavimento



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Figura 77 - Fotos da obra - Dia 04/09/2014



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Figura 78 - Fotos da obra - Dia 04/09/2014



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

5.3.4 Cobertura

A estrutura do telhado começou a ser montada juntamente com as paredes do pavimento superior no dia 01/10/14, (Figura 77 e Figura 78), e teve seu término em menos de 10 dias. O telhado utilizado foi do tipo *Shingle* e foi montado por outra equipe, o que não interferiu nas outras atividades da obra.

Figura 79 - Fotos da obra - Dia 09/09/2014



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA, 2014)

Figura 80 - Fotos da obra - Dia 09/09/2014



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

As figuras, Figura 79 e Figura 80, apresentam a obra no dia 09/09/2014, um dia antes da finalização da cobertura. Nestas fotos também é possível perceber o avanço da obra através do fechamento externo sendo executado. A Figura 81 e Figura 82, apresentam algumas etapas da confecção do telhado, e a Figura 83 mostra o aspecto final das telhas *Shingle*.

Figura 81 - Estrutura do telhado / Chapeamento do compensado estrutural no telhado



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA, 2014)

Figura 82 - Camada impermeabilizante com TEP e colocação das telhas *Shingle*



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Figura 83 - Telhado *Shingle* finalizado



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA, 2014)

Conforme pode ser visto na Figura 82, a correta execução das camadas se realiza de baixo para cima, e com um transpasse, evitando assim que a água adentre na estrutura de madeira e a danifique.

Ainda nos telhados foram utilizadas pingadeiras que permitem a proteção da estrutura do telhado, conforme a Figura 84.

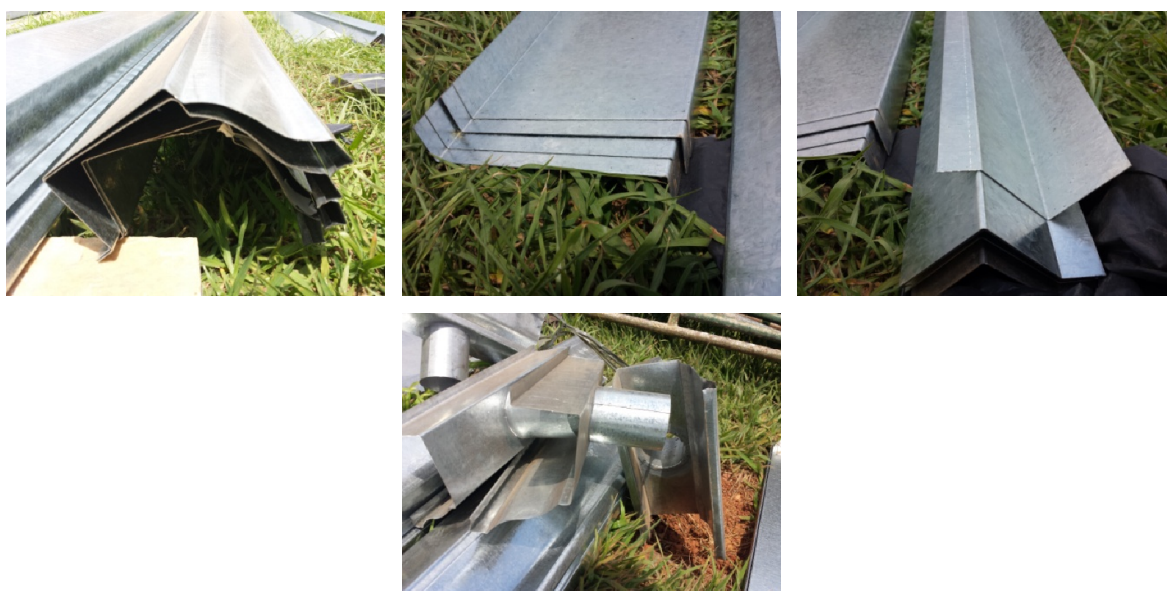
Figura 84 - Fachada frontal / Detalhe da pingadeira



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Após as pingadeiras tem-se o sistema de drenagem do telhado feito com calhas. A seguir, algumas fotos das calhas e perfis utilizados no sistema de drenagem na Figura 85.

Figura 85 - Fotos das calhas utilizadas



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA, 2014)

5.3.5 Fechamento Externo

O fechamento externo se deu com compensado estrutural coberto por placas cimentícia e entre essas duas camadas, ainda teve a manta de vapor. A execução começava com aplicação da manta na parte inferior do compensado fazendo uma cobertura nos primeiros 50 cm da placa inferior, e então esta placa era pregada na estrutura, (Figura 86). A manta foi presa com grampos e o compensado com parafusos autobrocantes com cabeça tipo trombeta. A face cinza da manta fica em contato direto com o compensado e a branca virada para fora.

Figura 86 - Detalhes do fechamento externo - 16/09/14



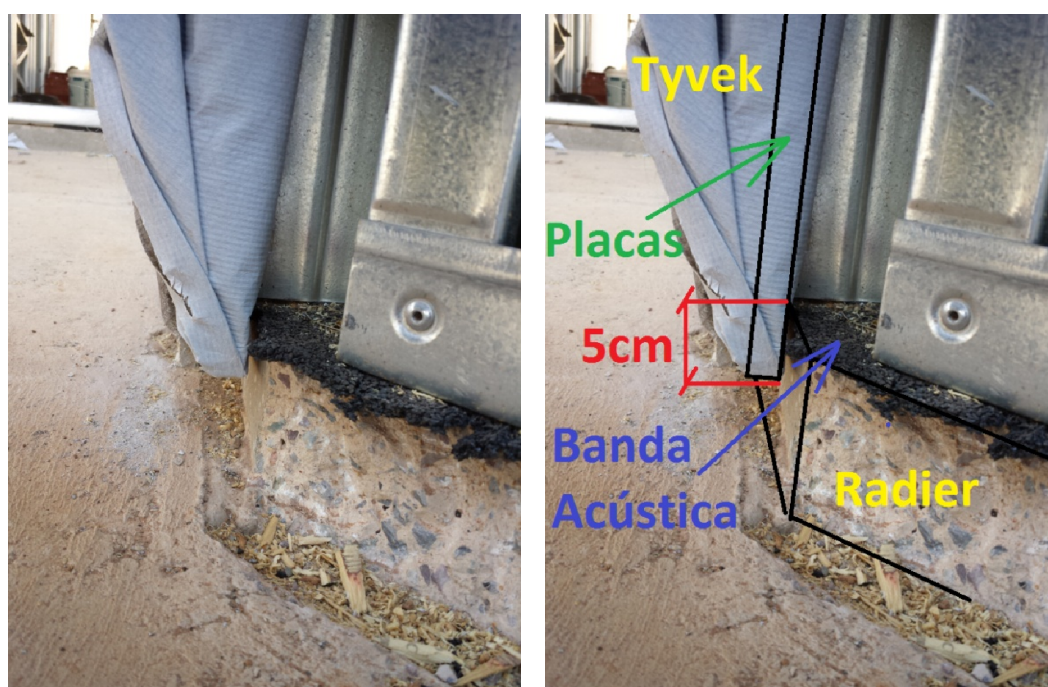
(Fonte: Autor, Créditos Zarya Arquitetura e Engenharia LTDA, 2014)

Na Figura 86, na seqüência, tem-se: o detalhe da manta anti-vapor visto por dentro da residência tendo passado 50 cm de altura no revestimento do compensado; a mesma parede vista por fora, com a manta ainda sendo colocada; o detalhe da manta colocada em duas etapas, a primeira revestindo a parte de baixo, tanto por dentro como por fora até a altura de 50 cm, e a segunda que cobre a face externa por completo; e o processo de corte da placa cimentícia para os acabamentos das janelas.

O processo é muito simples: a placa cimentícia pode ser cortada com estilete, e pode ser feito também por apenas uma pessoa, pois as peças são em geral muito leves.

A Figura 87 apresenta o conjunto das placas externas (compensado estrutural + cimentícia) coberta pela manta anti-vapor (Tyvek), que seguindo recomendação de projeto era fixado começando 5 cm abaixo da junção do radier com a guia da estrutura.

Figura 87 - Detalhe construtivo que evita a entrada de fluidos na edificação



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA, 2014)

Após a fixação das placas de compensado e revestimento com a manta foram colocadas então as placas cimentícias com parafusos de cabeça trombeta com ponta agulha, e evitando coincidir as emendas com as emendas das placas de compensado, e também evitando a emenda de mais de três placas no mesmo ponto (Figura 88).

Figura 88 - Colocação das placas cimentícias e acabamento das juntas de placas - 16/09/14



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Na Figura 88 é possível perceber na parte de cima da casa que as juntas das placas já estão tratadas. Este tratamento é feito com a fita de fibra de vidro e com a massa e enrijece e sela a região das juntas. Isto possibilita a distribuição de tensões de uma placa para outra e tenta buscar a monoliticidade do sistema.

Após esse tratamento de juntas, tem-se o revestimento de toda a superfície com a tela massa. O processo foi feito com a aplicação de uma camada de massa, e então a tela foi colada. Após colar a tela, foi dada mais uma demão de massa, que foi alisada. E para finalizar, mais uma demão de massa para cobrir definitivamente a tela (Figura 89).

O acabamento final se assemelha a um reboco, porém, menos poroso e melhor colado à superfície (ao passar a mão, este apresenta textura menos áspera e sem a liberação de partículas).

Figura 89 - Acabamento com fita, tela e massa sobre as placas cimentícias - 22/09/14



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Após esta etapa, é possível usar o acabamento desejado, como se fosse em estruturas convencionais. Quando coberta a estrutura, é difícil diferenciar esta casa feita em LSF de uma casa convencional de concreto armado e alvenaria, pois a aparência é extremamente similar. Esta afirmação é apenas para ilustração.

O fechamento externo começou dia 05/09/14 e terminou dia 30/09/14. Este demanda muito trabalho, pois são várias camadas e as camadas que envolvem massa ainda necessitam tempo de secagem para a próxima demão.

A seguir, algumas fotos dos dias 26 e 30 de setembro de 2014.

Figura 90 - Fotos das fachadas nos dias 26 e 30/09/14



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

5.3.6 Instalações

As instalações não foram executadas, pois este item não foi contratado ainda pelo cliente. Em breve a obra será retomada.

As instalações se dão logo após o fechamento externo, e antes do fechamento interno, pois ficam no espaço entre as chapas de madeira dos painéis, juntamente com a lã de rocha.

A atenção maior deve ser dada ainda em projeto, para evitar que as instalações coincidam com as barras de contraventamento, de preferência ficando em espaços desimpedidos e realizando o mínimo possível de furos nos perfis. Caso necessite de furos, realizá-los nas almas dos perfis, distantes um do outro, e se possível tentar realizá-los ainda na fábrica, retirando assim serviço de dentro da obra.

Deve ser colocado um suporte onde forem ser alocados os terminais, no caso de instalações hidráulicas, os pontos de água, e nas instalações elétricas as tomadas e interruptores, por exemplo.

5.3.7 Fechamento Interno

O fechamento interno também ainda não havia sido contratado pelo cliente até a data do término deste trabalho. As vantagens apresentadas pela equipe técnica da obra são relacionadas à facilidade de manuseio das peças, devido ao peso moderado, à limpeza e organização da obra, à facilidade de recortes nas placas, tanto para passagem de caixas de eletricidade como na própria montagem.

Foram apresentados alguns cuidados que devem ser tomados durante a montagem com gesso acartonado, como por exemplo, as placas que tampam as contravergas não devem apresentar emendas coincidentes com os eixos do contramarco, para tanto, as peças apresentam recortes. Também deve-se atentar para que as placas sejam colocadas somente após os testes das instalações.

5.3.8 Acabamentos

Os acabamentos também não foram contratados ainda, porém seguem algumas considerações acerca destes.

O fechamento externo aceita os mesmos acabamentos do que as obras convencionais, e caso seja algo com peso elevado, este deve ser levado em consideração nos projetos. O convencional com pinturas, texturas e pastilhas de cerâmica se adéquam perfeitamente.

O fechamento interno feito em *Drywall* necessita de tratamento adequado, pois a superfície é feita de gesso, porém estes produtos já estão disponíveis facilmente no mercado, uma vez que este sistema de fechamento com gesso acartonado tem se tornado cada vez mais comum.

As janelas, portas e o piso, também são os mesmos que são utilizados tradicionalmente, e é claro, também devem ser levados em conta no projeto desde sua criação.

As instalações aceitam os acabamentos tradicionais desde que o sistema seja projetado para tal. Uma pia, um lustre ou mesmo uma caixinha de interruptores utilizados convencionalmente, podem ser adotados em obras em LSF, claro que com os devidos cuidados. No caso de peças mais pesadas, como a pia, suportes devem ser utilizados, peças que o usuário final dificilmente vai perceber a presença.

Portanto, o arquiteto que conceber um projeto em LSF tem a liberdade de utilizar os mesmos acabamentos com os quais já está habituado, e alguns diferentes, como o *Siding* cimentício para o fechamento externo, ou as telhas *Shingle* na cobertura.

5.3.9 Sustentabilidade

A limpeza da obra é um ponto notável. A qualidade do ar do ambiente de trabalho também deve ser destacada, uma vez que esta é uma obra seca (sem

umidade) e também as únicas fontes de poeira são os cortes de placas, diferentemente das obras tradicionais, onde a umidade construtiva prevalece.

Os resíduos gerados são em maior parte recicláveis, sendo a maior parte composta por: madeira e produtos poliméricos indicados pelo fabricante como recicláveis. Ao total, foram utilizadas duas caçambas de resíduos.

Figura 91 - Resíduos



(Fonte: Autor, Créditos Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

6 ANÁLISE FINAL

Os objetivos deste trabalho foram atingidos, pois foi possível apresentar as principais características dos sistemas em LSF e acompanhar uma obra desta natureza apresentando os aspectos mais relevantes dos procedimentos executivos. Os objetivos específicos desta pesquisa também foram atingidos, sendo possível apresentar o método, seu histórico, características mais relevantes, aplicações, vantagens do uso do aço, relacionar os aspectos sustentáveis, realizar estudo comparativo das estruturas em concreto armado com as em LSF tanto no âmbito de distribuição de esforços como no caso de abalos sísmicos, apresentar o desempenho de uma parede interna com função estrutural submetida à fogo, apresentar as tecnologias mais usuais de fundação, fechamentos, cobertura e instalações, e por fim apresentar uma obra e explicar os aspectos construtivos mais relevantes.

A dificuldade desta pesquisa encontra-se no tempo que foi disponível para ser realizada. Este trabalho foi desenvolvido efetivamente em três meses, e para realizar um estudo mais detalhado seria necessário um pouco mais de tempo. A ausência de bibliografia também foi um grande problema.

Sobre o sistema *Light Steel Framing*, a maioria das características apresentadas em bibliografias foram comprovadas na prática, e para seu uso efetivo no Brasil, somente depende de sua divulgação, pois o mercado já encontra-se preparado para atender novos clientes. No futuro, este tipo de construções será grande aliada das construções sustentáveis, pois a partir da aplicação destas técnicas e materiais será possível ainda chegar a uma obra com uma menor geração de resíduos, ou dependendo de pesquisadores, zero de resíduos.

Observou-se que este tipo de construções não utiliza água em sua montagem, exceto na etapa de aplicação de massa e na higienização dos montadores. Isto é de grande importância dadas as circunstâncias atuais de escassez deste importante elemento.

Uma das maiores causas do desequilíbrio ambiental são as atividades da construção civil. Existe, portanto, a necessidade de conscientizar os profissionais da área a fazer o possível em suas atribuições para implantar soluções que proporcionam o equilíbrio ambiental, e uma dessas soluções é a aplicação de obras otimizadas na construção civil.

6.1 Sugestões de pesquisas

Em relação às pesquisas futuras a serem desenvolvidas por minha autoria ou por outras pessoas, têm-se algumas sugestões para temas que necessitam ser pesquisados:

- Redução do contraventamento - utilização de chapas estruturais para reduzir as "treliças";
- Tecnologia alternativa para substituir a membrana anti-vapor utilizado em LSF, e verificar a sua necessidade para as condições climáticas do Brasil;
- Estudo detalhado do *Light Steel Framing* submetido ao fogo;
- Estudo dos resíduos gerados pelo LSF - quantificações em porcentagens e destinações corretas;
- Estudo para enquadrar o LSF na NBR 15575, (Norma de Desempenho das edificações).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. NBR 14762/2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações – Requisitos gerais. NBR 15235/2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização. NBR 6355/2012.

CATÁLOGO da CSN. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/decc/ECC8058/Downloads/Aco_na_Construcao_Civil_CSN.pdf>. Acesso em: 25 set. 2014.

COELHO, André Santos Ribeiro. ***Light Steel Framing - recomendações de projeto, processo construtivo e detalhes orçamentários***. Monografia, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília UniCEUB, Brasília, DF, 2014. Orientado por: BESSA, William Oliveira.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). *Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002*. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

CONSTRUÇÃO em altura. Disponível em: <<http://www.futureeng.pt/construcao-em-altura>>. Acesso em: 25 set. 2014.

CONSTRUTORA Sequência. Disponível em: <<http://www.construtorasequencia.com.br>>. Acesso em: 25 set. 2014.

CRASTO, Renata Cristina Moraes de. ***Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Framing***. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2005. Orientada por: FREITAS, Arlene Maria Sarmanho.

DOCUMENTO de avaliação técnica (Nº14): Sistema construtivo a seco Saint-Gobain – *Light Steel Frame*. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/upfiles/downloads/Datec-14-LSF.pdf>>. Acesso em: 04 nov. 2014.

FREITAS, Arlene Maria Sarmanho; CRASTO, Renata Cristina Moraes de. Sistema *Light Steel Framing*. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Org./Editor). ***Materiais de Construção Civil e princípios de ciência e engenharia de materiais***. 2 ed. v. 02. São Paulo: IBRACON, 2010, p. 1189-1205.

GOOGLE Maps. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 11 set. 2014.

GUIA do Construtor em *Steel Framing*. Disponível em: <http://www.ushome.com.br/pdf/SF_Guia_Construtor.pdf>. Acesso em: 11 set. 2014.

SISTEMA FIEC. Disponível em: <<http://www.sfipec.org.br/portaltv2/sites/portaldafiec/home.php?st=inicio>>. Acesso em: 11 set. 2014.

SOUZA, Júlio César de; LIRA, Belarmino Barbosa. ***Tecnologia de assentamento de fachadas, projeto e ensaios tecnológicos para inserts metálicos***. Disponível em: <http://www.fiec.org.br/sindicatos/simagran/artigos_palestras/TECNOLOGIA_DE_ASSENT.htm>. Acesso em: 08 nov. 2014.

STEEL Frame. Disponível em: <<http://www.construtorasequencia.com.br/>>. Acesso em: 04 nov. 2014.

PRODUTOS Base Coat System. Disponível em: <<http://www.placlux.com.br/basecoatssystemprodutos.html>>. Acesso em: 16 nov. 2014.

TERNI, Antonio Wanderley; SANTIAGO, Alexandre Kokke; PIANHERI, José. Tecnologia Steel Framing - fechamento (parte 3). ***Téchne***. São Paulo-SP, ed.139, out. 2008a.

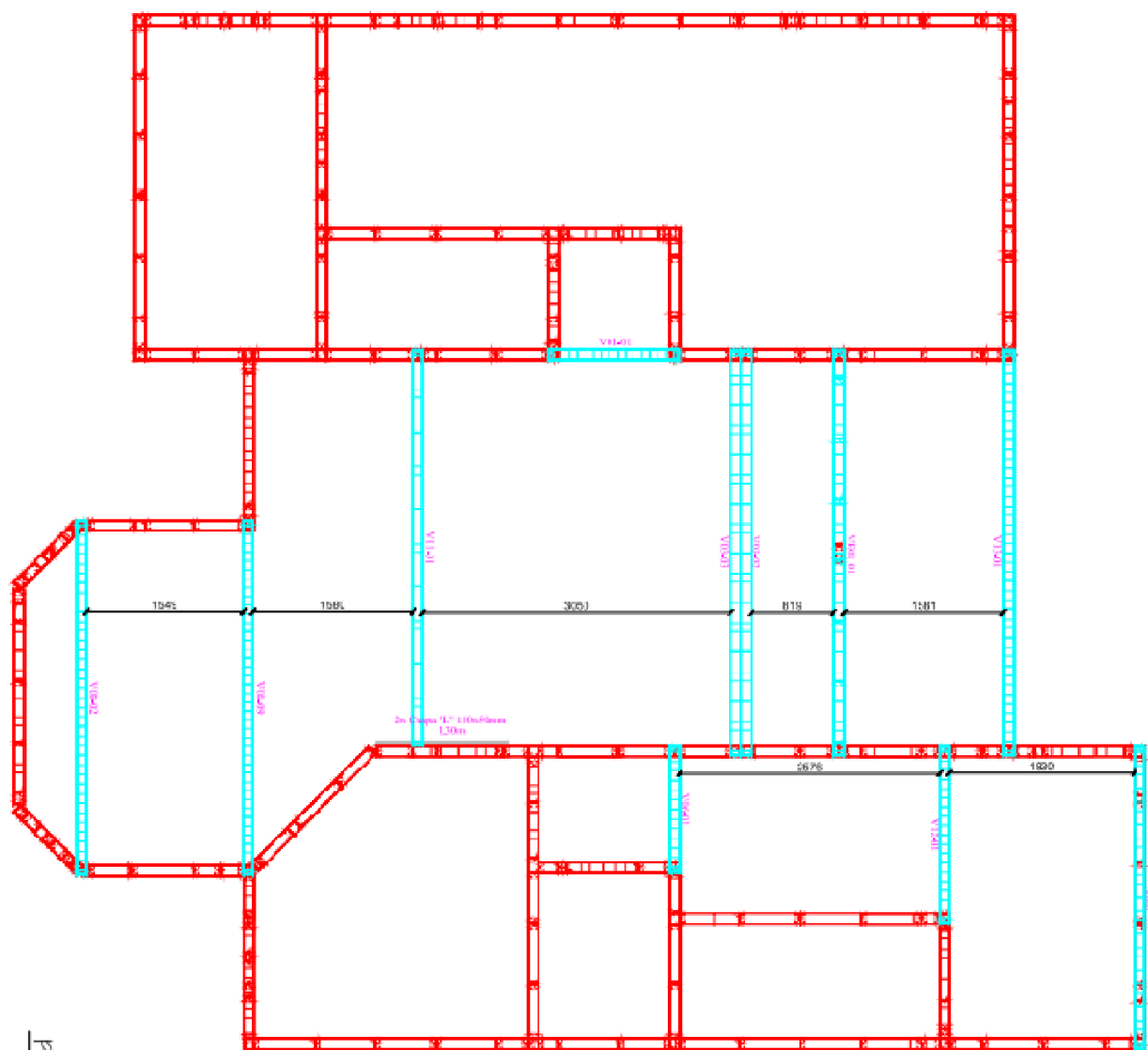
TERNI, Antonio Wanderley; SANTIAGO, Alexandre Kokke; PIANHERI, José. Tecnologia Steel Framing - instalações (parte 4). ***Téchne***. São Paulo-SP, ed.141, dez. 2008b.

TERNI, Antonio Wanderley; SANTIAGO, Alexandre Kokke; PIANHERI, José. Tecnologia Steel Framing - cobertura (última parte). ***Téchne***. São Paulo-SP, ed.144, mar. 2009.

ZÁRYA Arquitetura e Engenharia LTDA. Disponível em: <<http://www.zarya.com.br>>. Acesso em: 16 nov. 2014.

ANEXOS

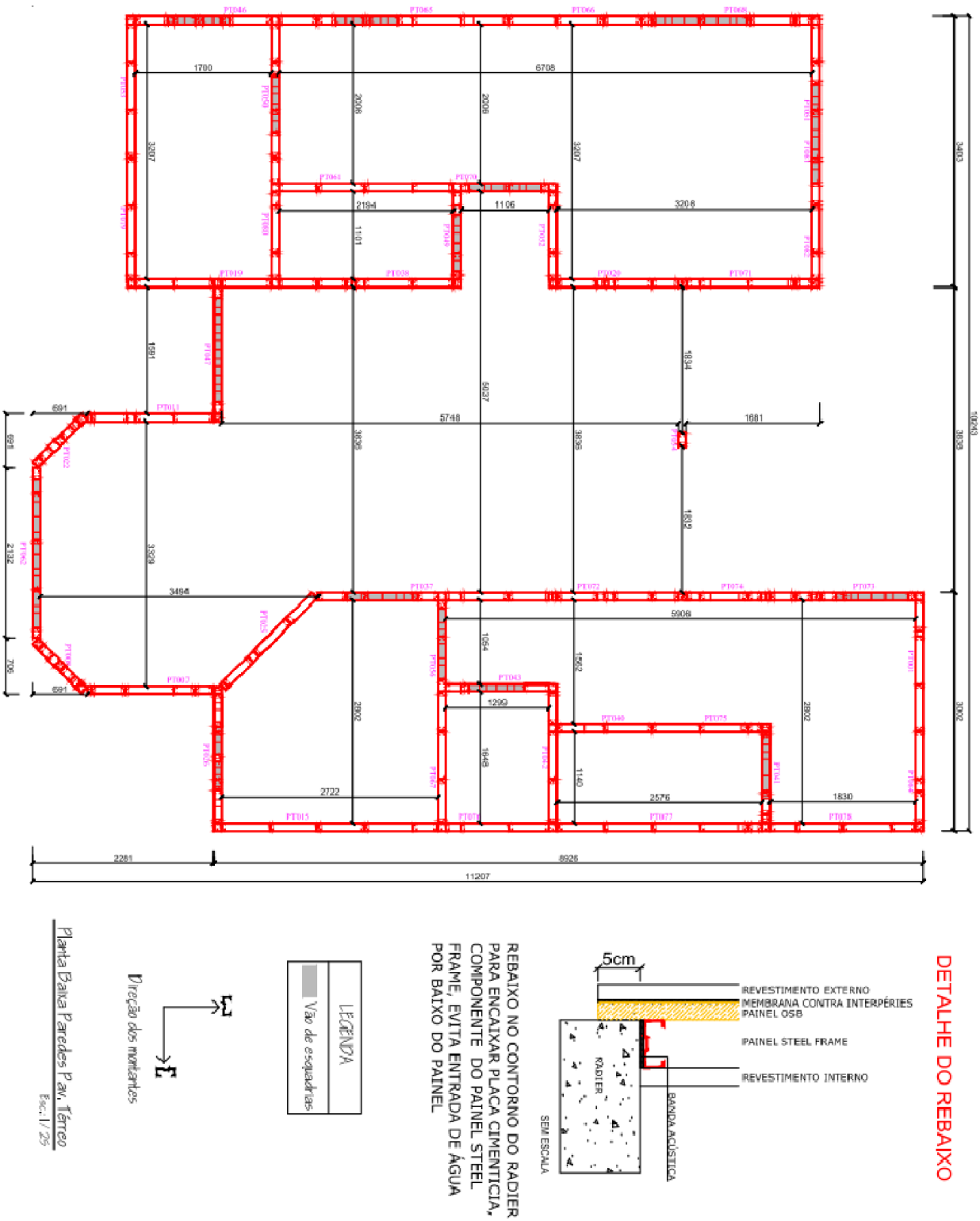
Figura 92 - Planta baixa vergas do térreo



Planta Baixa Vergas Térreo
Esc. 1/25

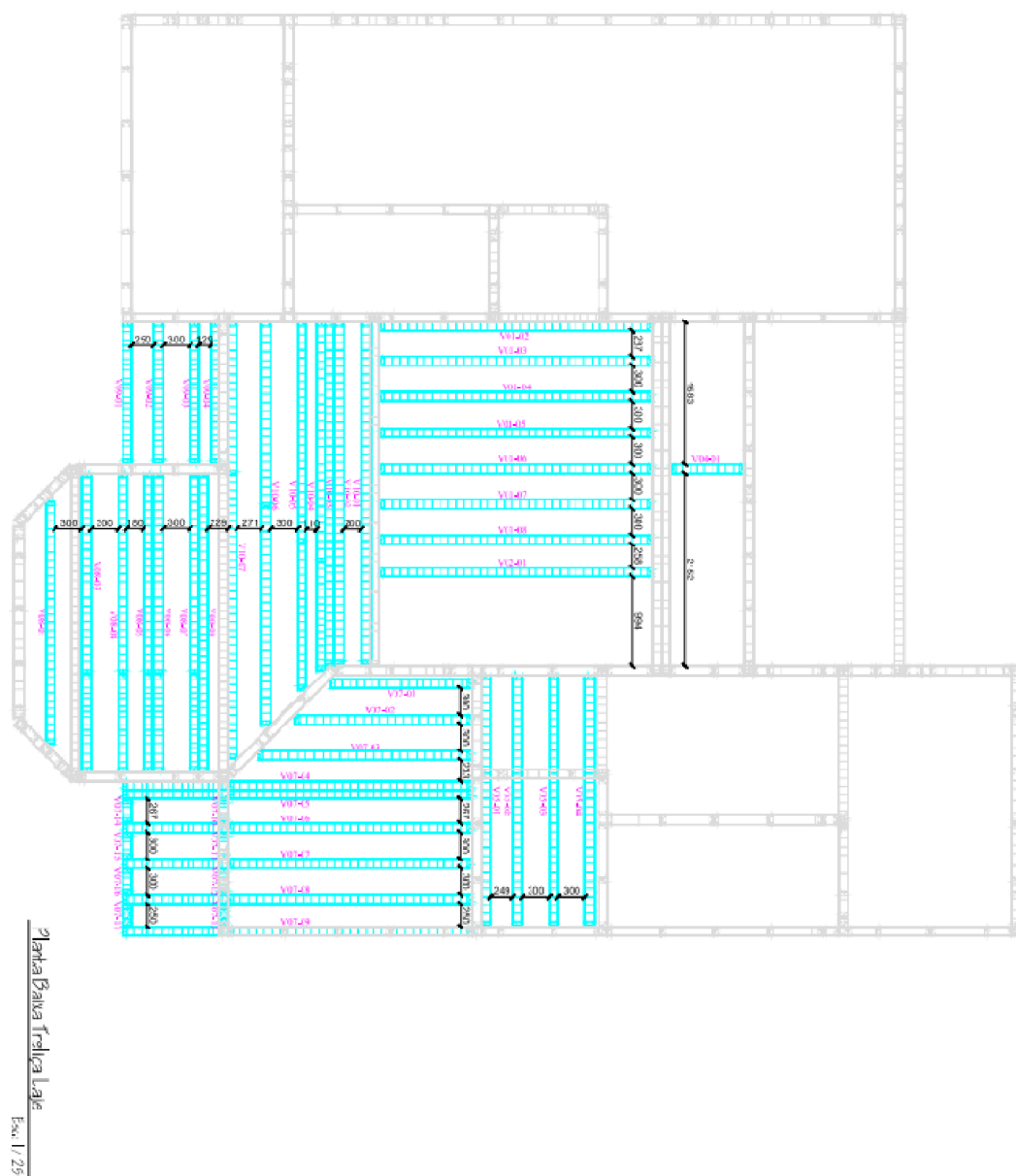
(Fonte: Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Figura 93 - Planta Baixa paredes Pav. Térreo



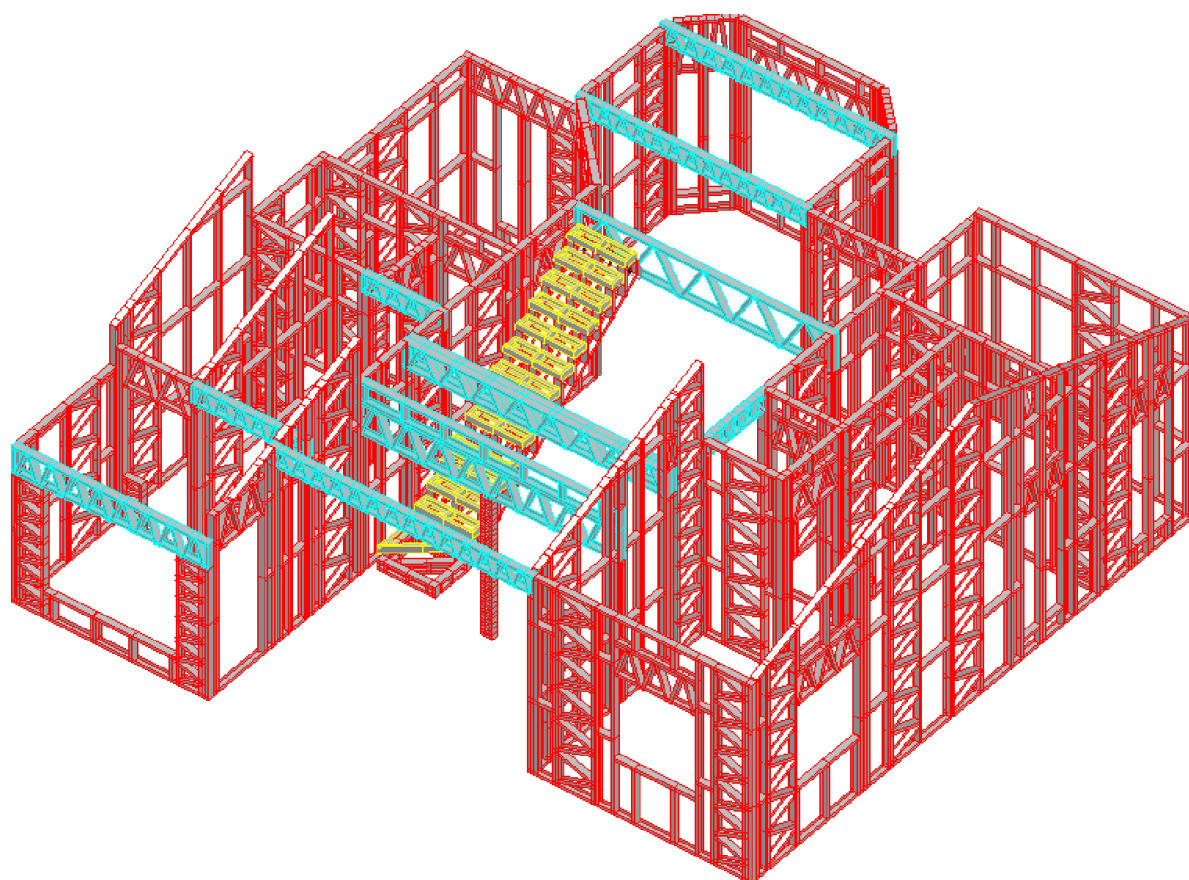
(Fonte: Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Figura 94 - Planta baixa treliça da laje



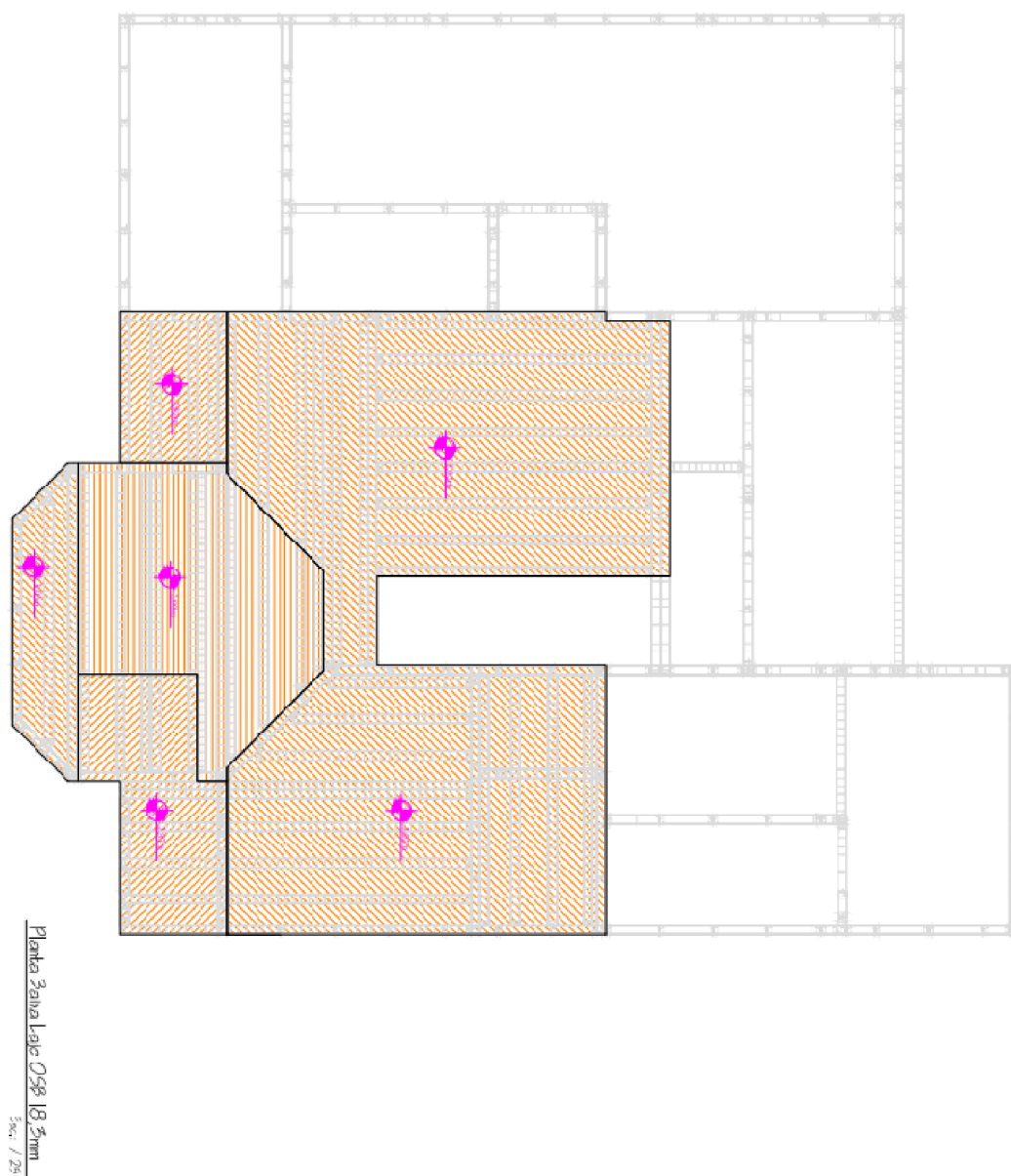
(Fonte: Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Figura 95 - Pavimento térreo



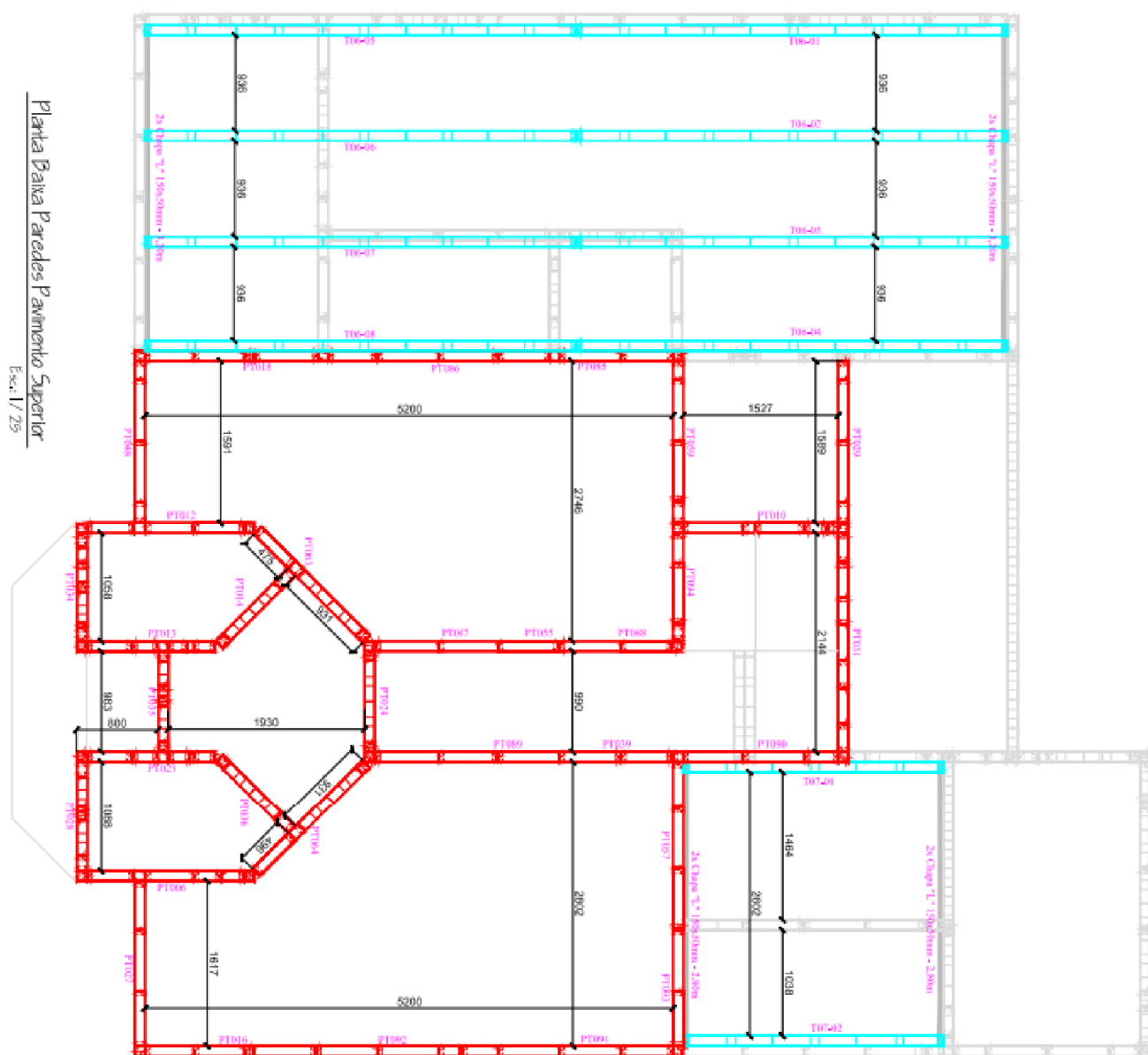
(Fonte: Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Figura 96 - Planta baixa da Laje



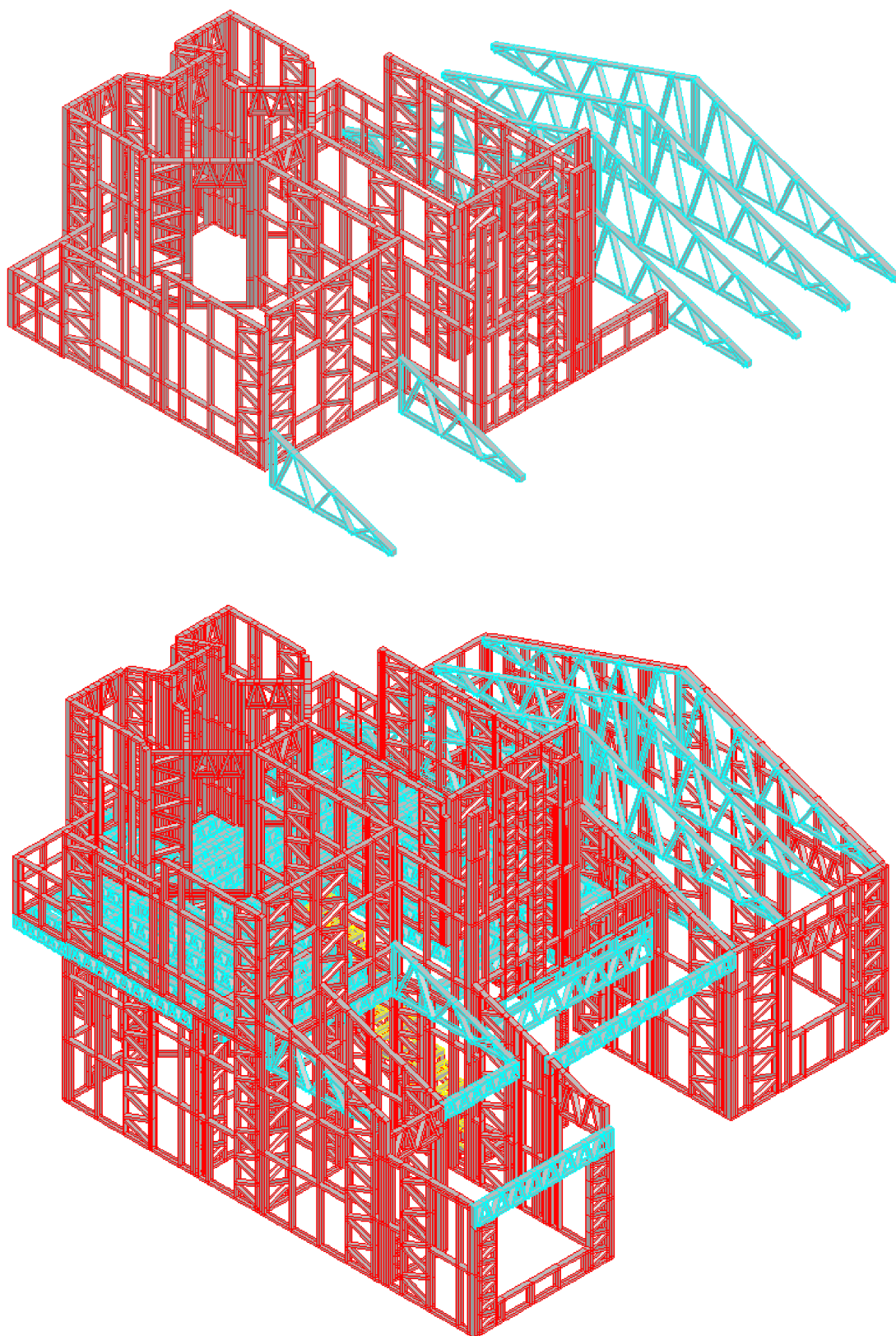
(Fonte: Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Figura 97 - Planta baixa paredes pavimento superior



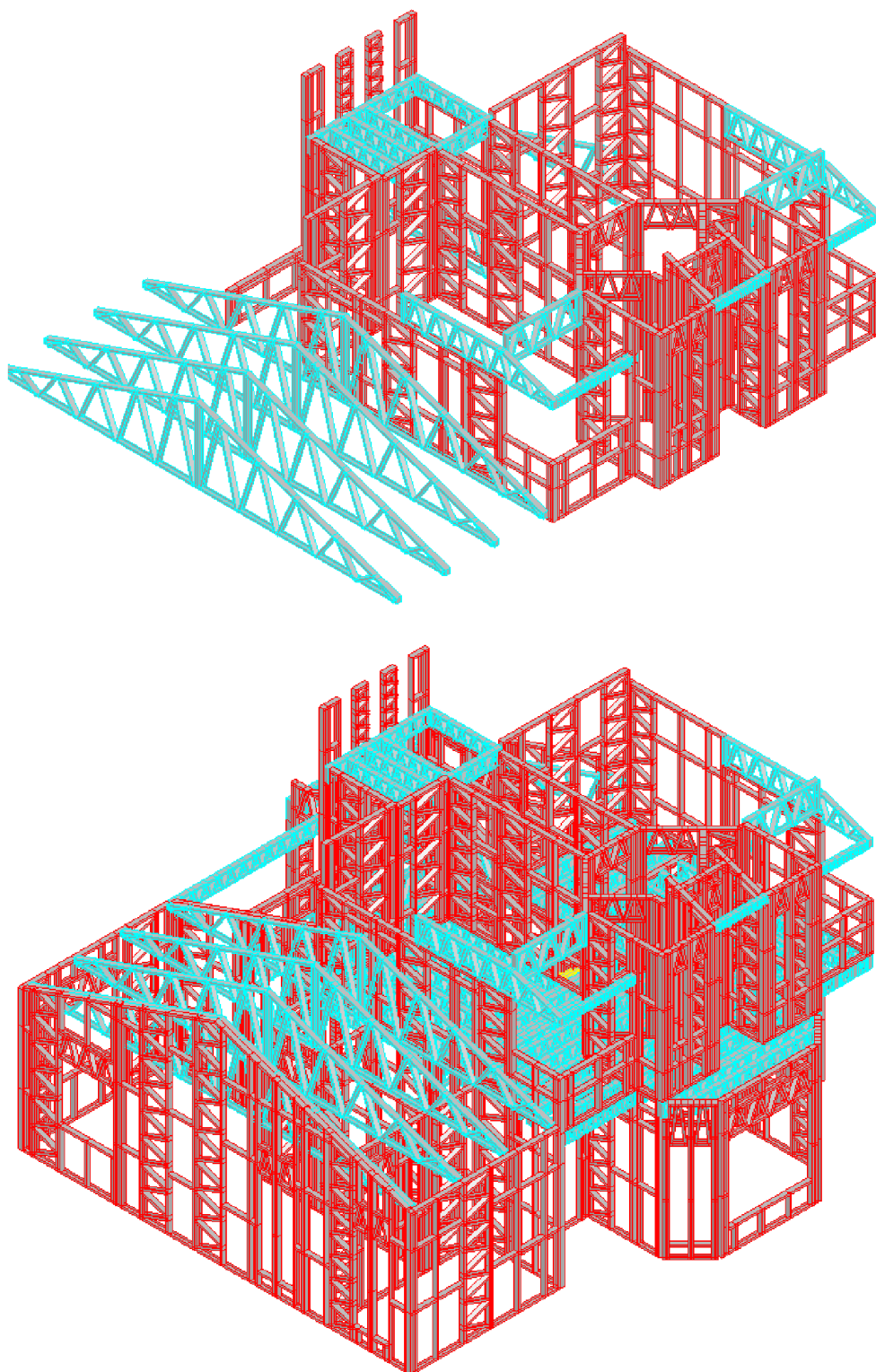
(Fonte: Zarya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Figura 98 - Pavimento superior - paredes e treliças



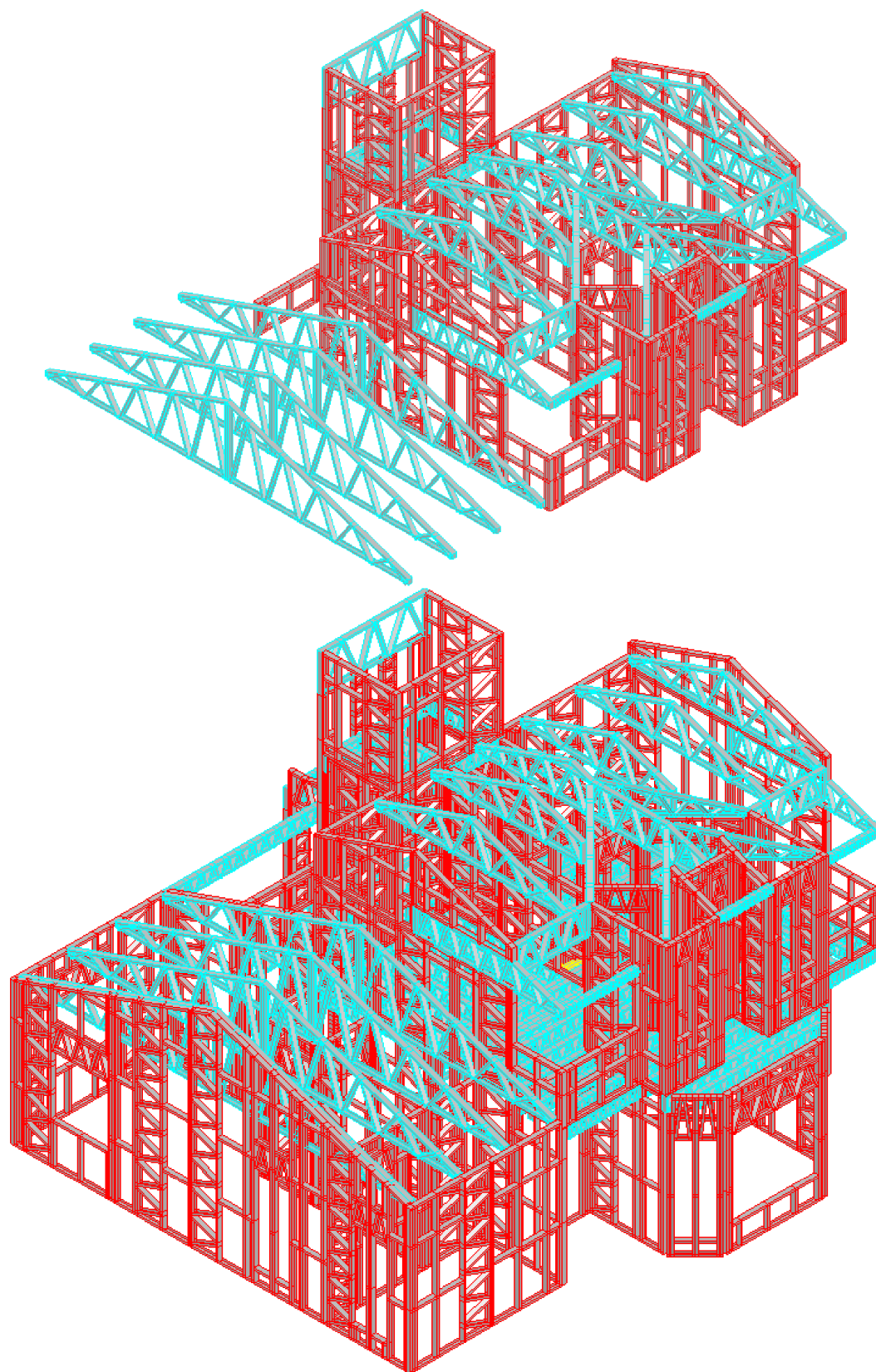
(Fonte: Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Figura 99 - Pavimento superior - Vergas do pavimento superior e laje reservatório



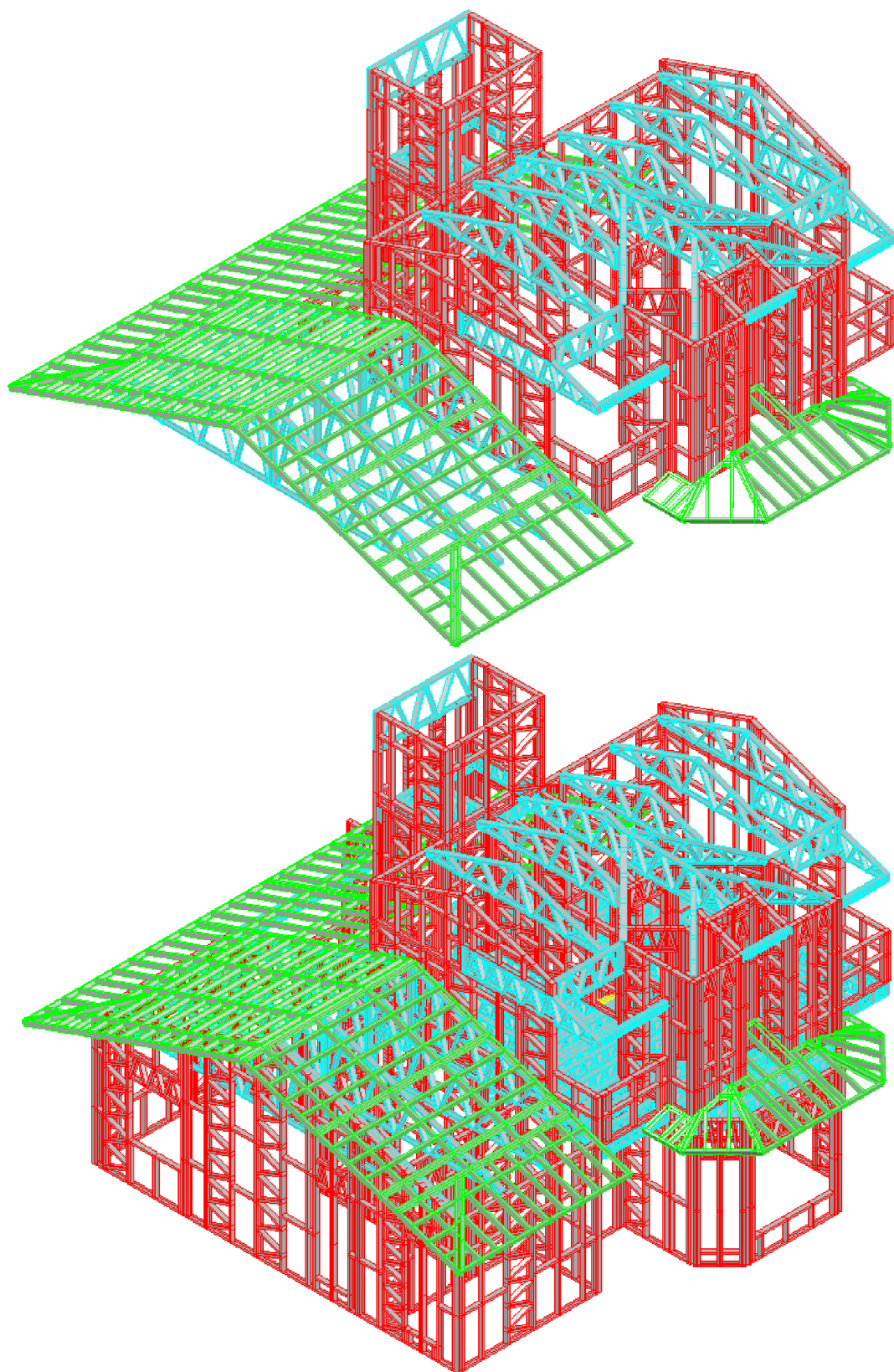
(Fonte: Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Figura 100 - Paredes reservatório e tesouras



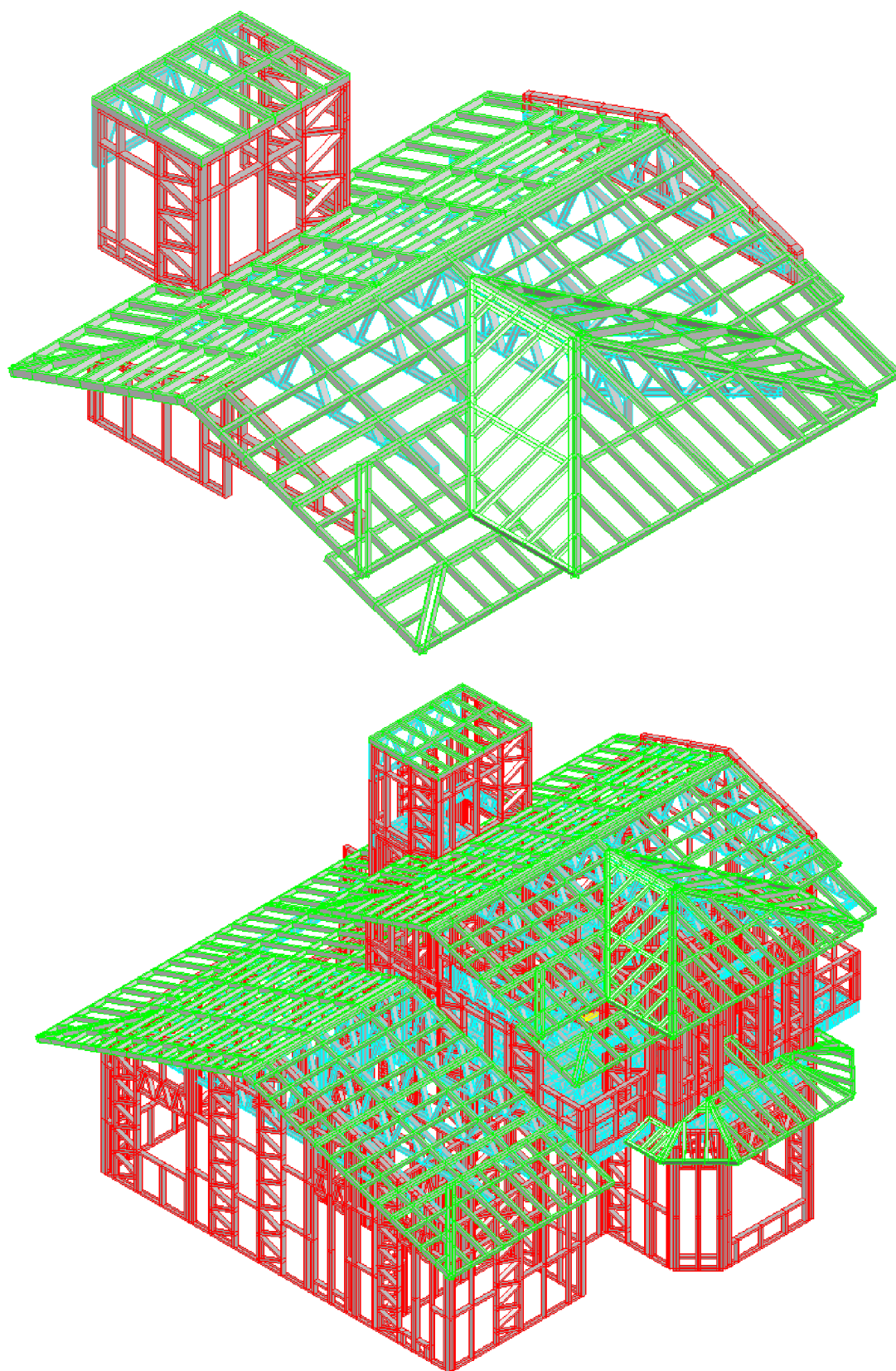
(Fonte: Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Figura 101 - Painel Cobertura térreo



(Fonte: Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)

Figura 102 - Paineis cobertura superior



(Fonte: Zárya Arquitetura e Engenharia LTDA)